

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία στα ιζήματα
της λίμνης Κάρλας»**

Τζούνη Ανθούλα

Βόλος 2011

**«Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία
στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

1) Κωνσταντίνος Σκόρδας, Λέκτορας, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων.*

2) Δημήτριος Βαφείδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων και άμεση - έμμεση χρησιμότητά τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος.*

3) Νικόλαος Νεοφύτου, Επιστημονικός Συνεργάτης, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος.*

Στους Παναγιώτη

Εύη και Λάζαρο

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα την εργασία αυτή κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα, Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθειά του, τη διαρκή του καθοδήγηση και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τους κ.κ. Δημήτριο Βαφείδη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και κ. Νικόλαο Νεοφύτου, Επιστημονικό Συνεργάτη του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Λουκία Γιαννακοπούλου, Υποψήφια Διδάκτορα, Ιχθυολόγο Τ.Ε για την άμεση βοήθεια και συμπαράστασή της στον τομέα των εργαστηριακών αναλύσεων, καθώς και την Κατερίνα Μόλλα, Υποψήφια Διδάκτορα Γεωπόνου ΠΕ για την πολύτιμη βοήθειά της. Ευχαριστώ επίσης θερμά τη Μάρθα Καρυώτη, Χωροτάκτη Μηχανικό, για την επεξεργασία των γεωχημικών χαρτών.

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προπάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αποτελεί μια γεωχημική έρευνα στα ιζήματα του πυθμένα της λίμνης Κάρλας (Θεσσαλία). Αντικείμενο της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός και η αξιολόγηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών στοιχείων στα ιζήματα της λίμνης προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα για την πιθανή ρύπανση της περιοχής καθώς και την πιθανή προέλευση των χημικών στοιχείων, φυσική ή ανθρωπογενής. Επίσης, ένας ακόμη στόχος ήταν ο προσδιορισμός της βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων, αλλά και οι πιθανές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς.

Επιλέχθηκαν δεκαέξι σταθμοί δειγματοληψίας και συλλέχθηκαν δεκαέξι δείγματα ιζήματος. Η επιλογή των θέσεων έγινε με τη χάραξη έξι διαδρομών που ξεκινούσαν από το βαθύτερο σημείο της λίμνης και κατέληγαν στα σημεία επιφανειακής εισροής περιμετρικά της λίμνης. Τα συλλεχθέντα δείγματα του ιζήματος αναλύθηκαν προκειμένου να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων Co, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μετάλλων έγινε μετά από διαλυτοποίηση των δειγμάτων με την επίδραση πυκνών οξέων, HNO_3 και HCl , με τη βοήθεια του συστήματος Multiwave 3000 και ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων ανθρωπογενούς προέλευσης έγινε με τη μέθοδο «0,5 N HCl ». Οι αναλύσεις των χημικών στοιχείων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS).

Η αξιολόγηση των συγκεντρώσεων μερικής διαλυτοποίησης των ιχνοστοιχείων Cr, Cu, Ni, Pb και Zn με βάση τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ERM-ERL, PEL-TEL και SEL-LEL ταξινομεί τα ιζήματα της περιοχής έρευνας ως εξής:

μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και δεν αναμένεται η εμφάνιση δυσμενών επιδράσεων στους βενθικούς οργανισμούς.

μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και αναμένεται να εμφανιστούν σπάνια ή περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

μέτρια ρυπασμένα ως προς το μόλυβδο (Pb) και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

ρυπασμένα έως πολύ ρυπασμένα ως προς το χρώμιο (Cr) και το νικέλιο (Ni) και οι δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών αναμένεται να εμφανιστούν συχνά.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τη μέθοδο «0,5 N HCl» έδειξαν ότι η σειρά βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων στην περιοχή έρευνας είναι η ακόλουθη:

$\text{Co} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cr}$

Η αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων Cr, Cu, Ni, Pb και Zn, ανθρωπογενούς προέλευσης, με βάση τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ERM-ERL, PEL-TEL και SEL-LEL ταξινομεί τα ιζήματα της περιοχής έρευνας ως εξής:

μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και το μόλυβδο (Pb) και δεν αναμένεται η εμφάνιση δυσμενών επιδράσεων στους βενθικούς οργανισμούς.

μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και το χρώμιο (Cr) και οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν σπάνια ή περιστασιακά.

ρυπασμένα ως πολύ ρυπασμένα για το νικέλιο (Ni) και οι δυσμενείς επιδράσεις αναμένεται να εμφανιστούν συχνά και στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Cr και Ni υπερέβησαν τις τιμές των κριτηρίων ποιότητας ιζημάτων σε ποσοστό δειγμάτων 100%.

Η σύγκριση των τιμών των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων στα ιζήματα της περιοχής έρευνας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων λιμνών του Ελλαδικού χώρου, έδειξε ότι οι συγκεντρώσεις των Co, Cr, και Ni είναι στα ίδια επίπεδα με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις της λίμνης Βεγορίτιδας.

Λέξεις κλειδιά: Βαρέα μέταλλα, Λίμνη Κάρλα, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-----1
1.1 Γενικά	-----1
1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία	-----3
1.2.1 Περιοχή μελέτης	-----3
1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης	-----5
1.2.3 Γεωλογία της περιοχής	-----6
1.2.4 Υδρολογικά-υδρογραφικά στοιχεία της περιοχής	-----8
1.2.5 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής	-----8
1.2.6 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής	-----8
1.3 Ιχνοστοιχεία στα υδάτινα οικοσυστήματα	-----9
1.3.1 Ιχνοστοιχεία στο υδάτινο περιβάλλον	-----9
1.3.2 Ιχνοστοιχεία στα ιζήματα	-----11
1.3.3 Ρύπανση ιζημάτων από βαρέα μέταλλα	-----12
1.3.4 Τοξικότητα των βαρέων μετάλλων	-----14
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	-----15
2.1 Προγραμματισμός έρευνας	-----15
2.2 Δειγματοληψία	-----15
2.3 Προετοιμασία δειγμάτων	-----18
2.4 Διαλυτοποίηση δειγμάτων	-----21
2.4.1 Μερική διαλυτοποίηση	-----21
2.4.2 Εκχύλιση «0,5 N HCl»	-----23
2.5 Αναλυτική μέθοδος	-----25
2.5.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης	-----25

2.5.2 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης-----	26
2.6 Κριτήρια προσδιορισμού περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων -----	28
2.6.1 Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων-----	28
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ-----	31
3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων-----	31
3.1.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης-----	31
3.1.2 Αποτελέσματα εκχύλισης «0,5 N HCl»-----	32
3.2 Γεωχημικοί χάρτες-----	35
3.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης-----	36
3.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδου « 0,5 N HCl » -----	49
3.2.3 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδων μερικής διαλυτοποίησης και « 0,5 N HCl » -----	61
3.3. Σχολιασμός περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων λίμνης Κάρλας-----	74
3.3.1 Σχολιασμός συγκεντρώσεων μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης-----	74
3.3.2 Σχολιασμός συγκεντρώσεων μεθόδου «0,5 N HCl »-----	84
3.4 Συσχέτιση δεδομένων μεθόδων «0,5 N HCl » και μερικής διαλυτοποίησης---	93
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-----	96
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-----	99
6. ABSTRACT-----	107
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-----	110

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Η Βιόσφαιρα θεωρείται ως ένας περίπλοκος «βιολογικός φλοιός» που καλύπτει τη γη και του οποίου οι διαστάσεις δεν μπορούν να οριστούν επακριβώς. Σε γενικές γραμμές όμως, μπορεί να χωριστεί σε αέριο (air environmen), χερσαίο (land environment) και υδάτινο περιβάλλον (water environment). Το τελευταίο μπορεί επίσης να διαχωριστεί σε θαλάσσιο (marine environment) και ποτάμιο-λιμναίο (freshwater environment) (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Τα παραπάνω μέρη της βιόσφαιρας και κατ' επέκταση το ίδιο το περιβάλλον, υπόκεινται σε ρύπανση, ειδικά σε ρύπανση που προέρχεται από τοξικές χημικές ουσίες. Τα ιχνοστοιχεία πιστεύεται πως είναι αυτά που έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και γενικότερα στο περιβάλλον (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Τις τελευταίες δεκαετίες τόσο η παγκόσμια κοινότητα όσο και διεθνείς περιβαλλοντικοί οργανισμοί και οργανώσεις δίνουν έμφαση στην προστασία, αποκατάσταση και επανασύσταση υγροτόπων που καταστράφηκαν από ανθρώπινες δραστηριότητες και επιλογές. Η αποκατάστασή τους κρίνεται επιτακτική λόγω των ποικίλων λειτουργιών που επιτελούν και των σημαντικών κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών αξιών, καθώς και των προβλημάτων που δημιουργήθηκαν από τις αποξηράνσεις αυτές (Χατζηαποστόλου 2009).

Οι αποξηράνσεις υγροτόπων στην Ελλάδα, με εκτεταμένα αποστραγγιστικά έργα, έλαβαν χώρα κυρίως στο βόρειο τμήμα της χώρας στις αρχές της δεκαετίας του 1920. Οι κυριότεροι λόγοι για την αποξήρανση ήταν η καλλιέργεια των εκτάσεων, η αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων, η εξάπλωση της ελονοσίας και άλλων νοσημάτων, οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της εποχής με την αλλαγή του ιδιοκτησιακού

καθεστώτος, η κατάργηση των μεγαλοϊδιοκτησιών, η διανομή της γης στους αγρότες και η αποκατάσταση 1,5 εκατομμυρίου προσφύγων (Μπαμπατζιμόπουλος και συν. 1990, Εξαρχόπουλος 1999).

Μια από τις λίμνες που αποξηράνθηκαν είναι και η λίμνη Κάρλα, η οποία αποξηράνθηκε τη δεκαετία του 1960 με την κατασκευή σήραγγας που διοχέτευσε τα νερά της στον Παγασητικό κόλπο. Σήμερα για την επανασύστασή της εφαρμόζεται επαναπλημμυρισμός της περιοχής με τη δημιουργία πολλών μικρών ταμιευτήρων. Η αποκατάσταση του πρώην υγροτόπου είναι επιτακτική λόγω των προβλημάτων που δημιουργήθηκαν στα υπάρχοντα αποθέματα νερού από την κατασπατάληση τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου νερού, καθώς και από την εκτεταμένη ρύπανση των υδάτων από τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων στην ευρύτερη περιοχή (Koutseris 1987, Koutseris 1989, Zalidis et al. 1999, Zalidis et al. 2005).

Σκοπός της μελέτης-έρευνας

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης και η κατανομή των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα, τόσο για την πιθανή επιβάρυνση – ρύπανση της περιοχής από αυτά, όσο και για την πιθανή προέλευση των χημικών στοιχείων, φυσική ή ανθρωπογενή. Στόχος είναι επίσης ο προσδιορισμός της βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων αλλά και οι πιθανές επιπτώσεις τους στους υδρόβιους οργανισμούς.

1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία

1.2.1 Περιοχή μελέτης

Η νέα λίμνη Κάρλα έκτασης περίπου 38.000 στρεμμάτων, είναι κατασκευασμένη στο χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλας κοντά στο χωριό Κανάλια και καταλαμβάνει υποβαθμισμένα και κατώτερης ποιότητας εδάφη του δημοσίου. Διαμορφώνεται από το ανατολικό ανάχωμα και το δυτικό ανάχωμα, που χωρίζεται σε δυο τμήματα, το βόρειο και το νότιο (Σχ. 1.1-1.2: Παράρτημα Α). Στον Πίνακα 1.1 δίνονται στοιχεία για τη στάθμη, την επιφάνεια και τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα, για διάφορες στάθμες του νερού.

Πίνακας 1.1: Στοιχεία στάθμης νερού, επιφάνειας και χωρητικότητας του ταμιευτήρα της Κάρλας (ΥΠΕΧΩΔΕ 2001).

Στάθμη ταμιευτήρα μ.υ.θ	Επιφάνεια 10^6 m^2	Όγκος 10^6 m^3
43,50	0,000	0,000
44,00	1,400	0,230
45,00	25,000	13,430
45,35	28,300	22,760
46,00	34,500	43,180
46,40	34,650	57,010
48,00	35,200	112,880
48,80	35,450	141,140
50,00	35,800	183,880
52,00	37,900	257,580

μ.υ.θ.: μέσο υψόμετρο θέσης

Η λίμνη τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από εισροές γλυκού νερού, που προέρχονται από τον ποταμό Πηνειό μέσω του ρέματος Ασμάκι (Σχ.1.3: Παράρτημα Α)

Επίσης, ένας μεγάλος όγκος νερού προέρχεται από τις επιφανειακές απορροές μέσω των συλλεκτήρων Σ_3 , Σ_4 , Σ_6 , και των αντλιοστασίων DP_1 και DP_2 .

Ο συλλεκτήρας Σ_3 με μήκος 32,5 km είναι αντιπλημμυρικό έργο και συλλέγει νερά των λεκανών απορροής ορεινών και ημιορεινών περιοχών της ανατολικής και βορειοανατολικής πλευράς της πεδιάδας της Κάρλας, έκτασης 368 km². Ο συλλεκτήρας δέχεται νερά τόσο από την τάφρο 9T όσο και από άλλα φυσικά ρέματα, με σπουδαιότερο τον Άμυρο, ενώ δέχεται επίσης και τα νερά του έλους Καλοχωρίου (Σχ.1.4 : Παράρτημα Α).

Ο συλλεκτήρας Σ_4 είναι έργο αντιπλημμυρικής προστασίας με μήκος 13,8 km και τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα και με νερά του ποταμού Πηνειού. Συλλέγει αφενός τα νερά των ορεινών και ημιορεινών περιοχών που εκτείνονται προς την νότια και νοτιοδυτική πλευρά της πεδιάδας της Κάρλας, συνολικής έκτασης 184 km² και αφετέρου δέχεται τα νερά της τάφρου 2T (νερά χαμηλών περιοχών συνολικής έκτασης 187 km²)(Σχ.1.5: Παράρτημα Α).

Ο συλλεκτήρας Σ_6 με μήκος 4,55 km είναι χαραγμένος στις παρυφές του λοφώδους συγκροτήματος της περιοχής Κερασιάς και στα ανάντη του συνδέεται με το χείμαρρο Κερασιώτη. Η έκταση της λεκάνης απορροής του Σ_6 είναι 56 km² (Σχ.1.6: Παράρτημα Α).

Το αντλιοστάσιο DP1, είναι κατασκευασμένο στο βόρειο τμήμα του δυτικού αναχώματος και ανυψώνει στον ταμιευτήρα τα νερά πλημμυρών της τάφρου 1T που δεν μπορεί να απομακρύνει η σήραγγα Κάρλας (Σχ.1.7: Παράρτημα Α).

Το αντλιοστάσιο DP₂ είναι κατασκευασμένο έξω από το ανατολικό ανάχωμα και ανυψώνει στον ταμιευτήρα τα νερά της χαμηλής ζώνης της περιοχής Καναλιών – Κερασιάς.

Τέλος, σημαντικός όγκος νερού προέρχεται από τα ρέματα της περιοχής που εκβάλλουν απευθείας στον ταμιευτήρα. Ένα από αυτά τα ρέματα είναι το Βαθύρεμα

που βρίσκεται ανατολικά της περιοχής μελέτης, στην πλευρά του Μαυροβουνίου, και εκβάλλει απευθείας στη λίμνη.

1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή της λίμνης Κάρλας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα, που έγινε την πρώτη περίοδο του Τεταρτογενούς, στο οποίο εναποτέθηκαν τα πρώτα λιμναία ιζήματα. Ακολούθησε η πλήρωση του βυθίσματος με προϊόντα διάβρωσης των γύρω περιοχών, που μεταφέρθηκαν από τον Πηνειό, χείμαρρους και άλλα ποτάμια μικρότερης σημασίας. Τα όρια της περιοχής (Σχ.1.8: Παράρτημα Α) ορίζονται στα ανατολικά και βορειοανατολικά από τον ορεινό όγκο του Μαυροβουνίου, στα νότια από το όρος Μεγαβούνι και στα νοτιοδυτικά από το όρος Χαλκοδόνιο. Στα δυτικά η περιοχή οριοθετείται από λοφώδεις περιοχές (Φυλλήιον όρος), ενώ στα βόρεια τα όρια της δεν ήταν σαφώς καθορισμένα, αφενός γιατί αυτή η πλευρά της λίμνης εκτείνονταν εντός καλλιεργήσιμων και πεδινών εκτάσεων και αφετέρου γιατί η στάθμη της παρουσίαζε μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις, που μεταφράζονταν σε πολλά τετραγωνικά χιλιόμετρα τα οποία, που το ένα έτος ήταν καλυμμένα με νερό και το άλλο ήταν στεγνά (Ananiadis 1956, Λουκάς και συν. 2006).

Η λίμνη Κάρλα καταλάμβανε το χαμηλότερο και νοτιότερο άκρο της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλίας και υπήρχε από τη νεολιθική εποχή, μέχρι το 1962 που αποξηράνθηκε (Σχ.1.9: Παράρτημα Α). Η έκτασή της ήταν μεταβαλλόμενη από έτος σε έτος, ανάλογα με τις αυξομειώσεις του όγκου του εισερχόμενου νερού και έφτανε από 65.000 μέχρι 180.000 στρέμματα (1920-1921). Ήταν αβαθής (2 ως 6 μέτρα) με πλούσια υδρόβια βλάστηση (Ananiadis 1956, Εξαρχόπουλος 1999, Ρούσκας 2001).

Με την κατασκευή των αναχωμάτων στον Πηνειό τη δεκαετία 1930-1940 περιορίστηκαν οι πλημμύρες, καθώς και ο όγκος του νερού που κατέληγε στη λίμνη με

αποτέλεσμα τη μείωση της έκτασής της (Ananiadis 1956, Εξαρχόπουλος 1999, Ρούσκας 2001).

1.2.3 Γεωλογία της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κάρλας ανήκει από γεωτεκτονικής άποψης στη ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων και συγκεκριμένα στην Πελαγονική ζώνη. Ο όρος Πελαγονική ζώνη καθιερώθηκε από τους Brunn (1956) και Aubouin (1959) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες. Η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημι-μεταμορφωμένα Περμιο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα (Μουντράκης 1985).

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (φύλλα Αγίας, Πλατυκάμπου, Βόλου, Φαρσάλων, Βελεστίνου και Λάρισας) κλίμακας 1:50.000 στην ευρύτερη περιοχή έρευνας εμφανίζονται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί:

Παλαιοζωικό (Προλιθανθρακοφόρο) κρυσταλλικό υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης: καταλαμβάνει μεγάλη έκταση του Μαυροβουνίου με ορατό πάχος μεγαλύτερο των 600μ. Αποτελείται από γνεύσιους ως επί το πλείστον διμαρμαρυγιακούς και γνευσιοσχιστόλιθους με παρεμβολές αμφιβολιτικών σχιστόλιθων και αμφιβολιτών.

Νεοπαλαιοζωικοί – κάτω μεσο Τριαδικοί σχηματισμοί: σύστημα πολυφασικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων ορθο-και παρα-προέλευσης που καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του Μαυροβουνίου με πάχος που υπερβαίνει τα 800μ. Υπέγκεινται επικλυσιογενώς του παλαιοζωικού κρυσταλλικού υποβάθρου και αποτελούνται από ποικιλία μεταμορφωμένων πετρωμάτων ιζηματογενούς προέλευσης

(σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και μεταβασίτες). Στα ανώτερα μέλη τους απαντούν κατά θέσεις ενστρώσεις αδροκρυσταλλικών μαρμάρων και σιπολινών.

Μάρμαρα του μεσο- ανωτ Τριαδικού- ανώτερου Ιουρασικού: καταλαμβάνουν ολόκληρο το νότιο τμήμα του Μαυροβουνίου και το πάχος τους κατά θέσεις υπερβαίνει τα 800μ. Είναι μεσοστρωματώδη έντονα καρστικά, κυανότεφρα έως μελανότεφρα με παρεμβολές δολομιτικών μάρμαρων και κρυσταλλικών δολομιτών στα κατώτερα μέλη τους. Στο ανώτερο τμήμα των μαρμάρων της περιοχής του Μαυροβουνίου απαντούν βοξιτικά κοιτάσματα μικρών διαστάσεων, που ανήκουν στον πρώτο γνωστό βοξιτικό ορίζοντα μεταξύ του Μέσου και Ανώτερου Ιουρασικού.

Γνευσιοσχιστόλιθοι - σχιστόλιθοι του ανώτερου Ιουρασικού: υπέρκειται επικλυσιγενώς των μεσοανωτριασικών - ανωιουρασικών μαρμάρων και το πάχος τους κατά θέσεις υπερβαίνει τα 200μ. Αποτελούνται από μαρμαρυγίες, χαλαζία και άστριους και σε μικρότερη αναλογία απαντούν αμφίβολοι, χλωρίτης, επίδοτα και σερίκίτης. Κατά θέσεις μέσα στα πετρώματα αυτά απαντούν ενστρώσεις κιτρινόφαιων και κατά θέσεις λευκών μαρμάρων μικρού πάχους.

Προανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα (Ηωελληνικό κάλυμμα): πρόκειται για ένα σύμπλεγμα πολυφασικά μεταμορφωμένων οφειολιθικών πετρωμάτων και μεταϊζημάτων, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του Προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και αποτελούνται από σερπεντινίτες, μεταμορφωμένα βασικά οφειολιθικά πετρώματα (αμφιβολίτες, πρασινίτες) και μεταμορφωμένα πετρώματα ιζηματογενούς προέλευσης (μαρμαρυγικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακοί-χλωριτικοί-μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι).

Αλουβιακές αποθέσεις: αποτελούνται από ανοικτότεφρα μέχρι καστανότεφρα υλικά από ιλύ, άργιλο, άμμο και κροκαλολατύπες, που αποτέθηκαν στην λεκάνη της Κάρλας σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και σε κοιλάδες ανοικτές προς τη θάλασσα.

Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα : ασύνδετες λατύπες ποικίλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης, με λεπτομερές υλικό ανάμεσά τους (Σχ.1.10: Παράρτημα Α).

1.2.4 Υδρολογικά-υδρογραφικά στοιχεία της περιοχής

Με βάση τον Ν.1739/87 η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στο υπ' αριθμόν 08 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (Σχ.1.11: Παράρτημα Α) με έκταση 13.377 km² (ypa.n.gr).

Η λεκάνη απορροής της Κάρλας έχει συνολική έκταση 1.050 km² (Σχ.1.12: Παράρτημα Α). Αποτελείται από τις λεκάνες απορροής των υψηλών περιοχών (λεκάνες απορροής των συλλεκτήρων Σ₃, Σ₄, Σ₆, Σ₇ έκτασης 727 km², καθώς και τη λεκάνη απορροής 47 km² των περιοχών που απορρέουν απευθείας στον ταμιευτήρα) και τις λεκάνες απορροής των χαμηλών περιοχών έκτασης 276 km² (ΥΠΕΧΩΔΕ 2005, Παπανίκος 2008).

1.2.5 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής

Με βάση τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό ηπειρωτικού τύπου με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες (hnms.gr) (Πιν.1.2: Παράρτημα Γ).

1.2.6 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Τα εδάφη της περιοχής προέρχονται από αλλουβιακά, λιμναία και ελώδη αποθέματα ποικίλης μηχανικής σύστασης. (Σχ. 1.13: Παράρτημα Α). Δημιουργήθηκαν

από τα φερτά υλικά του ποταμού Πηνειού και άλλων μικρότερης σημασίας ποταμών και χειμάρρων της περιοχής (ΥΠΕΧΩΔΕ 1999, ΥΠΕΧΩΔΕ 2005).

1.3 Ιχνοστοιχεία στα υδάτινα οικοσυστήματα

1.3.1 Ιχνοστοιχεία στο υδάτινο περιβάλλον

Τα ιχνοστοιχεία έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τη ζωή των οργανισμών, στους οποίους επιδρούν θετικά ή αρνητικά, παρεμβαίνοντας στις βιοχημικές τους λειτουργίες και επηρεάζοντας τη φυσιολογία τους παρά τις ιδιαίτερα χαμηλές τους συγκεντρώσεις. Διακρίνονται σε απαραίτητα και μη απαραίτητα ανάλογα με τη χρησιμότητά τους στην ανάπτυξη των ζώντων οργανισμών. Απαραίτητα θεωρούνται τα ιχνοστοιχεία όταν ανιχνεύονται σε σταθερές συγκεντρώσεις στους υγιείς ιστούς, ενώ αυτά για τα οποία δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα κάποια θετική επίδραση στη ζωή θεωρούνται μη απαραίτητα (Bryan 1976, Cotton & Wilkinson 1983, Förstner & Wittman 1983). Συγκεκριμένα, ως ιχνοστοιχεία αναφέρονται τα στοιχεία με συγκέντρωση κάτω του 0,1 % στη λιθόσφαιρα (Förstner & Wittman 1983, Κελεπερτζής Α. 2000).

Ως βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται εκείνα τα χημικά στοιχεία που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από $5,0 \text{ gr/cm}^3$ (Förstner & Wittman 1983) ή κατά άλλους σχετική ατομική μάζα (ατομικό βάρος) μεγαλύτερη από 20, που είναι η σχετική ατομική μάζα του Ca (Mason 1991). Κάποια από αυτά, όπως το αργίλιο (Al) και ο σίδηρος (Fe), είναι τα αφθονότερα στοιχεία της λιθόσφαιρας, ενώ τα περισσότερα και πλέον τοξικά απαντώνται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα φυσικά συστήματα και χαρακτηρίζονται τοξικά ιχνοστοιχεία.

Τα ιχνοστοιχεία εισέρχονται στο υδάτινο περιβάλλον προερχόμενα τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές, εκ των οποίων οι τελευταίες είναι αυτές που

προκαλούν κατά κύριο λόγο τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Στις φυσικές πηγές ανήκουν η διάβρωση των πετρωμάτων, η αποσάθρωση γεωλογικών υλικών, οι βιολογικές διεργασίες, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, ενώ στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται οι μεταλλευτικές και μεταλλουργικές βιομηχανίες, η παραγωγή και η χρήση χημικών ενώσεων και υλικών που περιέχουν βαρέα μέταλλα, η καύση υγρών καυσίμων, η έκπλυση αποβλήτων, οι αστικές απορροές, οι γεωργικές απορροές, η εξόρυξη ορυκτών και η χημική βιομηχανία. Οι πηγές των μετάλλων μπορεί να είναι σημειακές (π.χ. αγωγοί) και μη σημειακές (π.χ. αγροτικές περιοχές) (Förstner & Wittman 1983, Thomson et al. 1984, Κιλικίδης Σ. 1997, Κελεπερτζής Α. 2000).

Στον πίνακα 1.2. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των πιο σημαντικών χημικών στοιχείων σε πετρώματα, εδάφη και νερά σύμφωνα με τον Levinson (1974).

Πίνακας 1.2: Μέση περιεκτικότητα των πιο σημαντικών χημικών στοιχείων σε (ppm) σε πετρώματα, εδάφη και νερό (Levinson 1974)

Στοιχείο & ειδ. Βάρος σε gr/cm ³	υπερβασικά πετρώματα	βασάλτης	αργιλικός σχιστόλιθος	ασβε- στόλιθος	έδαφος	ποτάμιο νερό	αναγκαίο σε φυτά/ζώα	γνωστό ρυπαντικό
Ag (10.5)	0.06	0.1	0.05	1	1	0.3	-	N
Au (19.3)	0.005	0.004	0.004	0.005	-	0.002	-	
Bi (9.8)	0.02	0.15	0.18	-	-	-	-	N
Cd (8.7)	0.2	0.2	0.2	0.1	1	-	-	N
Co (8.9)	150	50	20	4	1-40	0.2	A	N
Cr (7.2)	2000	200	100	10	5-1000	1	A	N
Cu (8.9)	10	100	50	15	2-100	7	A	N
Fe (7.9)	0.4 10 ⁴	8.7 10 ⁴	4.7- 10 ⁴	0.4- 10 ⁴	2.1 -10 ⁴	100	A	N
Hg (13.6)	-	0.08	0.5	0.05	0.03	0.007		N
Mn (7.4)	1300	2000	850	1100	850	7	A	
Mo (10.2)	0.3	1	3	1	2	1	A	N
Ni (8.9)	2000	150	70	12	5-500	0.3	A	N
Pb (11.3)	0.1	5	20	8	2-200	3		N
Pt (21.5)	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-
Sn (7.3)	0.5	1	4	4	10	-	A	N
Th (11.5)	0.003	2.2	14	2	13	0.1	-	N
Tl (11.9)	0.05	0.1	0.3	-	0.1	-	'	N
U (19.1)	0.001	0.6	4	2	1	0.4	-	N
V (6.1)	50	250	130	15	20-500	0.9	A	-
W (19.3)	0.5	1	2	0.5	-	0.03	A	N
Zn (7.1)	50	100	100	25	10-300	20	A	N

1.3.2 Ιχνοστοιχεία στα ιζήματα

Τα ιζήματα είναι οργανικοί και ανόργανοι κόκκοι διαφόρων μεγεθών, που καθιζάνουν μέσω της υδάτινης στήλης και αποτίθενται στον πυθμένα, όπου με το πέρασμα των γεωλογικών χρόνων σχηματίζουν ένα κάλυμμα (Θεοδώρου Α. 2004). Προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση χερσαίων πετρωμάτων, ηφαιστειακές εκρήξεις, διάστημα, συστατικά ανόργανων ενώσεων, οργανική ύλη και ανόργανα σκελετικά υπολείμματα οργανισμών (Κελεπερτζής 2000, Φερεντίνος et al. 2003).

Τα ιχνοστοιχεία στα ιζήματα προέρχονται είτε από φυσικές διεργασίες, είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ένα ποσοστό της περιεκτικότητας των ιζημάτων σε ιχνοστοιχεία κληρονομείται κυρίως από τα προϊόντα αποσάθρωσης των γεωλογικών σχηματισμών, ενώ ένα επίσης ποσοστό κατά περίπτωση οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Adriano 1986, Nriagu & Pacyna 1988, Sachanidis et al. 2000, Kabata-Pendias & Pendias 2001, Georgakopoulos et al. 2002a, Georgakopoulos et al. 2002b, Cui et al. 2004, Cui et al. 2005).

Η πτώση των αιωρούμενων στερεών προς το βυθό, είναι ο κύριος δρόμος μέσω του οποίου τα ιχνοστοιχεία φθάνουν στο ίζημα. Τα καταβυθιζόμενα αιωρούμενα σωματίδια προσφέρουν πολλές θέσεις δέσμευσης των μετάλλων πάνω στην επιφάνειά τους (Αλούπη 1999).

Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να είναι ενσωματωμένα στο ίζημα με τις ακόλουθες μορφές (Tessier & Campbell 1979, Forstner & Wittmann 1983, Cambell et al. 1988):

- Ενσωματωμένα στο κρυσταλλικό πλέγμα των αργιλικών και άλλων ορυκτών που προέρχονται από την αποσάθρωση του στερεού φλοιού της γης.

- Προσροφημένα στην επιφάνεια λεπτόκοκκων ή κολλοειδών υλικών με μεγάλη ειδική επιφάνεια, όπως τα αργιλικά ορυκτά, που έχουν την ικανότητα να προσροφούν κατιόντα μετάλλων από το νερό, απελευθερώνοντας άλλα.
- Προσροφημένα στα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου (συγκαθίζηση). Τα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου κάτω από οξειδωτικές συνθήκες αποτελούν σημαντικό μέσο καταβύθισης των βαρέων μετάλλων κυρίως με μηχανισμούς συγκαθίζησης.
- Ενωμένα με οργανική ύλη. Οι οργανικές ενώσεις δημιουργούν σύμπλοκες ενώσεις με τα μέταλλα, μεταβάλλουν την κατανομή μεταξύ οξειδωμένων και αναγμένων μορφών των μετάλλων, ελαττώνουν την τοξικότητά τους και μεταβάλλουν τη βιοδιαθεσιμότητά τους.
- Ενωμένα με σουλφίδια. Τα σουλφίδια βρίσκονται στα ιζήματα σαν υπολειμματικοί κλαστικοί κόκκοι και σαν προϊόντα διαγένεσης.

Τα βαρέα μέταλλα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλες τις τάξεις μεγέθους κόκκων του ιζήματος. Το μεγαλύτερο ποσοστό των βαρέων μετάλλων συγκεντρώνεται στο πολύ λεπτόκοκκο υλικό (<63μm), το οποίο αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά. Οι συγκεντρώσεις αυτές ελαττώνονται στα κλάσματα ιλύς και λεπτόκοκκης άμμου που αποτελούνται κυρίως από χαλαζία. (Salomons & Forstner 1984, Σαμανίδου 1990, Αρβανίτης 2006).

1.3.3 Ρύπανση ιζημάτων από βαρέα μέταλλα

Τα ιζήματα αποτελούν δεξαμενή ή πηγή μετάλλων και χρησιμοποιούνται ως δείκτες ρύπανσης των υδάτινων συστημάτων, αφού όλη η ποσότητα των ιχνοστοιχείων που φθάνουν στους υδάτινους αποδέκτες καταλήγει στα ιζήματα. Αντικατοπτρίζουν επομένως την περιβαλλοντική κατάσταση ενός υδάτινου συστήματος από πλευράς

ρύπανσης και μας δίνουν πληροφορίες για την ιστορική εξέλιξη διαφόρων υδρολογικών και χημικών παραμέτρων, καθώς και για τα φυσικά επίπεδα των ρύπων, όπως και για αυτά που συσσωρεύονται προερχόμενα από ανθρώπινες δραστηριότητες (Κουϊμτζής και συν. 2004).

Τα μέταλλα που ενσωματώθηκαν στα ιζήματα δεν παραμένουν υποχρεωτικά ακίνητα, αλλά μπορούν κάτω από ευνοϊκές συνθήκες να αναδιαλυθούν και να μετακινηθούν στην υπερκείμενη υδάτινη μάζα, με τη συμμετοχή διεργασιών που περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές συνιστώσες και δρουν ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό μεταξύ τους. Το μέγεθος της επίδρασης των ιζημάτων στα υδατικά οικοσυστήματα δεν έχει ακόμη διασαφηνιστεί πλήρως, φαίνεται όμως ότι η εκδήλωση τοξικών φαινομένων εξαρτάται σημαντικά από τις επικρατούσες υδροδυναμικές συνθήκες της κάθε περιοχής (Forstner & Wittman 1983, Cambell et al 1988, Burgess & Scott 1992, Forstner & Heise 2006).

Κύρια αιτία ρύπανσης του περιβάλλοντος από ιχνοστοιχεία είναι οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις του ανθρώπου για ενέργεια και πρώτες ύλες. Η αυξανόμενη χρήση γεωργικών λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και γεωργικών προϊόντων γενικώς, είναι παράγοντας που αυξάνει τις συγκεντρώσεις των στοιχείων που διαχέονται στο περιβάλλον. Τέτοιου είδους ρυπαντές δεν απομακρύνονται, δεν βιο-διασπώνται και συσσωρεύονται υπό μορφή χημικών ενώσεων, συχνά πολύ πιο ενεργών από τις ήδη υπάρχουσες. Συνεπώς, τα ιζήματα αποτελούν δεξαμενές ιχνοστοιχείων, που μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (βιο-συσσώρευση τοξικών ιχνοστοιχείων στην τροφική αλυσίδα), εξαιτίας της πιθανής τοξικότητάς τους σε μικροοργανισμούς, φυτά, ζώα και στον άνθρωπο (Adriano 1986, Filippidis et al. 1996,

Hesteborg 1998, Kabata-Pendias & Pendias 2001, Georgakopoulos et al. 2002a, Kolovos et al. 2002, Cui et al. 2004, Cui et al. 2005).

1.3.4 Τοξικότητα των βαρέων μετάλλων

Τοξικά θεωρούνται τα στοιχεία που έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς, ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ανεξάρτητα από το αν είναι απαραίτητα ή όχι για τη ζωή. Για την κατάταξη των στοιχείων ανάλογα με την τοξικότητά τους χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήρια τόσο η τοξικότητα όσο και η βιοδιαθεσιμότητα τους (Wood 1974, Wood & Goldberg 1977), ενώ σύμφωνα με τους Nieboer & Richardson (1980), που στην κατάταξή τους περιλαμβάνουν και τα ιόντα των στοιχείων, διακρίνονται τρεις κατηγορίες ιόντων.

A. πολύ τοξικά : Au^+ , Ag^+ , Tl^+ , Cu^+ , Pd^{+2} , Pt^{+2} , Hg^{+2} , Pb^{+4} , Bi^{+3}

B. ενδιάμεσης τοξικότητας : Cd^{+2} , Pb^{+2} , Sn^{+2} , Cu^{+2} , Co^{+2} , Fe^{+2} , Ni^{+2} , Cr^{+2} , Ti^{+2} , Zn^{+2} , V^{+2} , Sb , As , Sn^{+4} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , Ga^{+3}

Γ. χαμηλής τοξικότητας : Ba^{+2} , Sr^{+2} , Mg^{+2} , Sc^{+3} , σπάνιες γαίες.

Τα βαρέα μέταλλα ανήκουν σήμερα στους πλέον τοξικούς ρύπους του περιβάλλοντος και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, σε αντίθεση με πολλούς οργανικούς ρύπους, δεν αποικοδομούνται με μικροβιακή δραστηριότητα. Αντίθετα, έχουν την ικανότητα να συσσωρεύονται στους οργανισμούς μέσω των τροφών, του πόσιμου νερού και του αέρα και ανάλογα με το είδος δέσμευσης να μετατρέπονται σε περισσότερο τοξικές ενώσεις (Förstner & Wittman 1983, Κουϊμτζής και συν. 1998).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Προγραμματισμός έρευνας

Στο στάδιο του προγραμματισμού της έρευνας συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούσαν την περιοχή μελέτης όπως:

1. Σχεδιασμός (ιστορικό περιοχής, καθορισμός στόχων έρευνας).
2. Τοπογραφικοί, γεωλογικοί και άλλοι χάρτες της περιοχής.
3. Εργασίες, μελέτες, διδακτορικές διατριβές και δημοσιεύσεις που έχουν εκπονηθεί από διάφορους Έλληνες και ξένους ερευνητές.

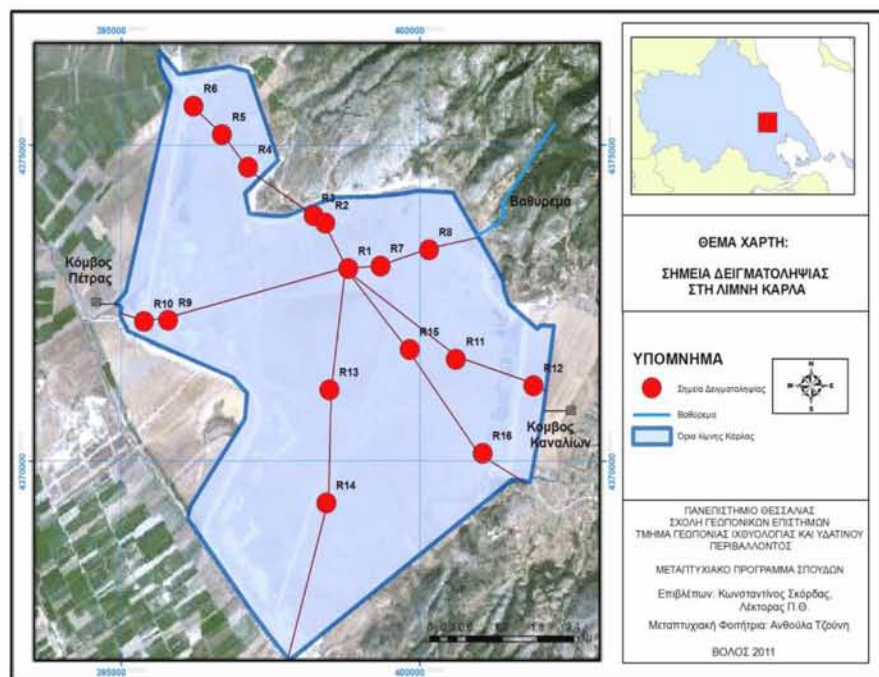
2.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία των ιζημάτων πραγματοποιήθηκε στη λίμνη Κάρλα το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου του 2010 με τη βοήθεια πλωτού μέσου (βάρκα) και τη χρήση του δειγματολήπτη βένθους τύπου Van Veen (Hydro-Bios Apparatebau G.m.b.H Kiel) (Εικ.2.1).



Εικόνα 2.1: Δειγματολήπτης βένθους

Συνολικά συλλέχθηκαν 16 δείγματα ιζήματος (από το σημείο R₁ έως το σημείο R₁₆) σε βάθη από 50 έως 140 cm από την επιφάνεια του νερού. Η επιλογή των θέσεων προσαρμόστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η επιφάνεια της λίμνης για την όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη δειγματοληψία. Χαραχτήκαν έξι διαδρομές, που η καθεμία ξεκινούσε από το βαθύτερο σημείο της λίμνης και είχε σαν κατάληξη ένα σημείο υπέργειας εισροής υδάτων περιμετρικά της λίμνης (Σχ. 2.1).



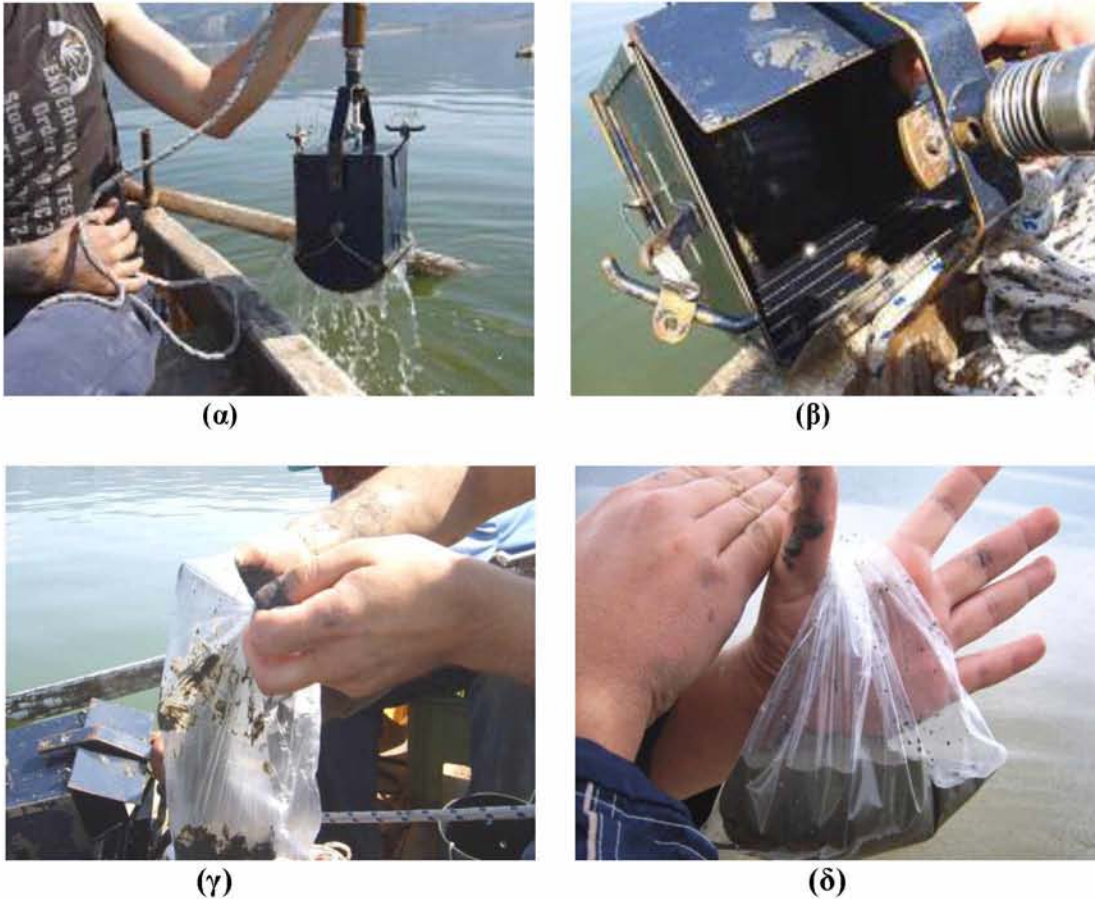
Σχήμα 2.1: Σημεία Δειγματοληψίας στη λίμνη Κάρλα

Ο προσδιορισμός των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με τη βοήθεια φορητού δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης (GPS) τύπου MAGELAN και οι γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Συντεταγμένες θέσεων δειγματοληψίας
(κατά Ε.Γ.Σ.Α.87)

Σημεία δειγματοληψίας	χ	γ
R1	398805	4373051
R2	398427	4373771
R3	398220	4373871
R4	397130	4374550
R5	396702	4375153
R6	396208	4375642
R7	399356	4373085
R8	400155	4373335
R9	395781	4372226
R10	395405	4372210
R11	400607	4371588
R12	401907	4371192
R13	398492	4371121
R14	398430	4369326
R15	399848	4371752
R16	401075	4370129

Ο δειγματολήπτης με τη βοήθεια σχοινιού βυθίστηκε μέχρι το βυθό και λόγω του βαριδίου που φέρει εισήλθε στη μάζα του ιζήματος. Στη συνέχεια με τον ειδικό μηχανισμό έκλεισαν τα δύο άκρα του δειγματολήπτη εγκλωβίζοντας το δείγμα με αποτέλεσμα ανερχόμενο στην επιφάνεια να μην παρατηρούνται απώλειες. Τα δείγματα του ιζήματος τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο σε φορητά ψυγεία για την αποφυγή τυχόν αλλοιώσεων, όπου και τοποθετήθηκαν σε καταψύκτες και σε θερμοκρασία -20°C (Εικ.2.3).



Εικόνα 2.3: α-δ. Συλλογή ιζήματος στη λίμνη Κάρλα με δειγματολήπτη βένθους και τοποθέτηση του σε πλαστική σακούλα.

2.3 Προετοιμασία δειγμάτων

Μετά το τέλος της δειγματοληψίας ακολούθησε η προετοιμασία των δειγμάτων στο εργαστήριο. Τα δείγματα του φυσικού υλικού σχεδόν πάντα χρειάζονται κάποιο είδος προπαρασκευής ώστε να ετοιμαστούν για χημική ανάλυση. Σκοπός της προετοιμασίας είναι α) να τεθεί το δείγμα σε μια μορφή που μπορεί να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί, β) να ομογενοποιηθεί και γ) να γίνει προκαταρκτικός διαχωρισμός των συστατικών στοιχείων σύμφωνα με την εμφάνισή τους στα διάφορα είδη σωματιδίων. Όλες αυτές οι δραστηριότητες πρέπει να σχεδιαστούν κατάλληλα, για να αποφευχθεί η

επιμόλυνση των δειγμάτων και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος προετοιμασίας, ειδικά αν πρόκειται για μεγάλο αριθμό δειγμάτων (Κελεπερτζής 2000, Αργυράκη 2007).

Η προετοιμασία των δειγμάτων περιλαμβάνει τα στάδια της ξήρανσης, της κονιορτοποίησης και κοσκίνισματος των δειγμάτων και το στάδιο της μείωσης της μάζας των δειγμάτων (Αργυράκη 2007).

•**Ξήρανση δειγμάτων:** το νερό πρέπει να απομακρύνεται από τα δείγματα πριν την εκτέλεση της χημικής ανάλυσης ως μη αναγκαίο συστατικό των κλαστικών ή οργανικών υλικών. Επιπλέον, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην περαιτέρω επεξεργασία των δειγμάτων. Το υγρό κλαστικό υλικό δεν κονιορτοποιείται και δεν κοσκινίζεται εύκολα. Επιπλέον, τα αναλυτικά αποτελέσματα λαμβάνονται επί ξηράς βάσης, έτσι ώστε το δείγμα πρέπει να ξηρανθεί πριν το ζύγισμα (Αργυράκη 2007).

•**Κονιορτοποίηση δειγμάτων:** η κονιορτοποίηση των γεωλογικών ή βιολογικών δειγμάτων χρειάζεται για να αυξήσει την επιφάνεια του δείγματος που εκτίθεται σε χημική προσβολή, αλλά και για να ομογενοποιήσει το δείγμα (Αργυράκη 2007).

•**Κοσκίνισμα δειγμάτων:** το κοσκίνισμα έχει δύο σκοπούς: α) την απομάκρυνση μεγάλων κομματιών χαλαζία, οργανικού υλικού και άλλων υλικών σχετικά φτωχών σε ιχνο-μέταλλα και β) την παραγωγή ενός λεπτόκοκκου ομογενοποιημένου προϊόντος από το οποίο μπορούν να ληφθούν εύκολα αντιπροσωπευτικά υπό-δείγματα (Κελεπερτζής 2000, Αργυράκη 2007).

•**Μείωση μάζας δειγμάτων:** Όταν αποσπώνται μικρά τμήματα του κονιορτοποιημένου πετρώματος, εδάφους ή ιζήματος, από ένα μεγαλύτερο όγκο για περαιτέρω επεξεργασία ή ανάλυση, πρέπει να ληφθεί φροντίδα ώστε τα δείγματα αυτά να είναι αντιπροσωπευτικά. Η ελάττωση της μάζας του χονδρικού δείγματος

γίνεται είτε με τη μέθοδο των τεταρτημορίων είτε με χρήση μηχανικών μέσων (Κελεπερτζής 2000, Αργυράκη 2007).

Η προεργασία των δειγμάτων μας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά τα δείγματα ξηράνθηκαν σε φούρνο με χαμηλή θερμοκρασία (35 °C) για 48 h (αφού πρώτα έγινε απόψυξη των δειγμάτων και τοποθέτησή τους σε ταψάκι αλουμινίου, όπου στρώθηκε ριζόχαρτο για αποφυγή επιμολύνσεων) (Εικ.2.4). Στη συνέχεια, όπου ήταν απαραίτητο, έγινε αποσβόλωσή τους σε πορσελάνινο γουδί, με σκοπό να γίνει κανονικά το κοσκίνισμα. Ακολούθησε το κοσκίνισμα των δειγμάτων με κόσκινο των 2mm. Το υλικό που συγκρατήθηκε στο κόσκινο απομακρύνθηκε, ενώ το υλικό που διήλθε από το κόσκινο των 2mm συλλέχθηκε για περαιτέρω κονιορτοποίηση και κοσκίνισμα από κόσκινο 150 μm , ώστε το δείγμα να είναι κατάλληλο για ανάλυση (Εικ.2.5).



Εικόνα 2.4 : Δείγμα ιζήματος **α)** πριν την ξήρανση και **β)** μετά την ξήρανση



Εικόνα 2.5: (α) κονιορτοποίηση δειγμάτων και (β) κοσκίνισμα δειγμάτων

2.4 Διαλυτοποίηση δειγμάτων

Οι υγρές αναλυτικές τεχνικές απαιτούν την διαλυτοποίηση των στερεών δειγμάτων με χρήση οξέων. Η ακριβής διαδικασία που ακολουθείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το είδος του δείγματος, τα χημικά στοιχεία που θα προσδιοριστούν και τα επίπεδα της συγκέντρωσής τους. Ανάλογα με το στόχο της χημικής ανάλυσης και τη σύσταση των δειγμάτων, η διαλυτοποίηση των γεωλογικών υλικών (πετρώματα, εδάφη, ιζήματα) μπορεί να είναι εκλεκτική - μερική, ή ολική (Αργυράκη 2007).

Η ολική χημική ανάλυση του δείγματος στοχεύει στον προσδιορισμό του συνόλου των στοιχείων που απαντώνται στο δείγμα. Η μερική ανάλυση στοχεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό του κλάσματος των στοιχείων του δείγματος (Odegard, 1997). Ο τελευταίος τρόπος ανάλυσης έχει ιδιαίτερη σημασία για τις γεωεπιστήμες και εφαρμόζεται κυρίως σε περιβαλλοντικές έρευνες και σε γεωχημικές διασκοπήσεις έρευνας ορυκτών και μεταλλευμάτων (Αργυράκη 2007).

2.4.1 Μερική διαλυτοποίηση

Η μέθοδος μερικής διαλυτοποίησης που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δειγμάτων στην παρούσα εργασία είναι η μέθοδος της υγρής χώνευσης με τη

βοήθεια φούρνου μικροκυμάτων σε κλειστά δοχεία με τη χρήση πυκνών οξέων, όπως το HNO_3 και HCl , σύμφωνα με το πρωτόκολλο 3051A της Επιτροπής Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής (Environmental Protection Agency USA).

Η πέψη με μικροκύματα σε κλειστά δοχεία είναι μία από τις πιο σύγχρονες μεθόδους. Η διαλυτοποίηση οργανικών και μη οργανικών δειγμάτων επιτυγχάνεται με χρήση πυκνών οξέων, όπως HCl και HNO_3 , σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 180°C και σε πιέσεις 60 με 180 bar. Τα μικροκύματα θερμαίνουν μόνο το υγρό διάλυμα των δοχείων, ενώ οι ατμοί που δημιουργούνται βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το υγρό διάλυμα και συμπυκνώνονται στα τοιχώματα των δοχείων. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχθεί ότι είναι η πλέον κατάλληλη για την πέψη ιζημάτων και εδαφών, αφού η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη μείωση του χρόνου πέψης, μειώνει τον κίνδυνο εξωτερικής επιμόλυνσης, απαιτεί μικρές ποσότητες οξέων, βελτιώνοντας έτσι τα όρια ανίχνευσης και τη συνολική ακρίβεια της μεθόδου (Bettinelli et al. 2000).

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν εκχυλίσσεις με τη μέθοδο 3051 σε δεκαέξι (16) αντιπροσωπευτικά δείγματα της περιοχής και μετρήθηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS) οι συγκεντρώσεις των παρακάτω χημικών στοιχείων: κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb) και ψευδάργυρος (Zn).

Η υγρή πέψη πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τη βοήθεια του συστήματος Multiwave 3000, Sample Preparation System, Anton Paar, Microwave System Perkin Elmer (Εικ. 2.6) σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Ζυγίζουμε 0,5 gr δείγματος με ακρίβεια χιλιοστού και το τοποθετούμε μέσα σε κλειστά δοχεία (vessels). Προσθέτουμε 9 ml πυκνού HNO_3 (65%) και 3 ml HCl (37%).

Το δείγμα αντιδρά με τα οξέα, και αφού τελειώσει η αντίδραση, κλείνουμε τα vessels και τα τοποθετούμε στο ρότορα, ώστε να αρχίσει η χώνευση. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με το άνοιγμα των vessel και την εξαγωγή τυχόν αερίων. Το δείγμα μεταφέρεται σε καθαρό φιαλίδιο όπου και προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 50ml. Κατόπιν γίνεται διήθηση του δείγματος με φίλτρο των 0,45 μm για την απομάκρυνση στερεών υπολειμμάτων και το διάλυμα είναι έτοιμο για μέτρηση στην ατομική απορρόφηση. Τέλος έγινε αποθήκευση των διαλυμάτων σε πλαστικά φιαλίδια των 50ml (falcon) και διατήρησή τους στο ψυγείο στους 4°C μέχρι την μέτρησή τους.



Εικόνα 2.6: Συσσκευή Microwave 3000

2.4.2 Μέθοδος εκχύλισης « 0,5 N HCl »

Για τον προσδιορισμό των μετάλλων που έχουν ανθρωπογενή προέλευση έγινε κατεργασία των δειγμάτων του ιζήματος με τη μέθοδο εκχύλισης «0,5 N HCl».

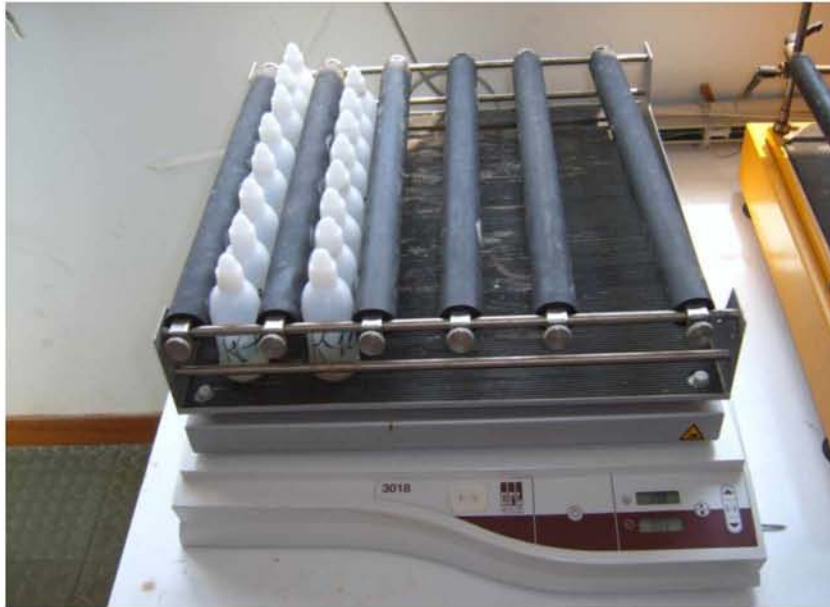
Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοσθεί ευρέως σε περιβαλλοντικές μελέτες, αφού επιτυγχάνει να αναγνωρίζει τη διαφορά ανάμεσα σε «ανώμαλες» συγκεντρώσεις και συγκεντρώσεις υποβάθρου. Για το λόγο αυτό θεωρείται ένα χρήσιμο εργαλείο για τη

διαφοροποίηση των ανθρωπογενών από τα φυσικά επίπεδα διαφόρων ρύπων (Loring 1976a, Loring 1976b, Chester & Voutsinou 1981, Angelidis et al. 1987, Αλούπη 1999, Zabetoglou et al. 2002, Skordas 2005). Το διάλυμα αυτό έχει την ικανότητα να εκχυλίζει αποτελεσματικά από τα ιζήματα τις αυθιγενείς μορφές των μετάλλων (προσροφημένα, συνδεδεμένα με οξείδια σιδήρου και μαγγανίου, ανθρακικά ορυκτά, σουλφίδια και οργανικά σύμπλοκα), ενώ παράλληλα αφήνει ικανοποιητικά ανεπηρέαστους τους αργίλλοπυριτικούς κρυστάλλους (Agemian & Chau 1976). Τα μέταλλα που εξάγονται αντιπροσωπεύουν το βιολογικά διαθέσιμο κλάσμα (Luoma & Bryan 1981) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της ανθρωπογενούς ρύπανσης των ιζημάτων (Chester & Voutsinou 1981).

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν εκχυλίσεις με τη μέθοδο "0,5 N HCl" και στα δεκαέξι (16) αντιπροσωπευτικά δείγματα της περιοχής έρευνας και μετρήθηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS) οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου (Co), του χρωμίου (Cr), του χαλκού (Cu), του νικελίου (Ni), του μολύβδου (Pb) και του ψευδαργύρου (Zn)

Η μεθοδολογία "0,5 N HCl" που ακολουθήθηκε είναι η παρακάτω :

Ζυγίζουμε με ακρίβεια ποσότητα δείγματος 2 gr περίπου και το τοποθετούμε σε πλαστικά φιαλίδια των 100ml. Προσθέτουμε 50 ml HCl 0,5N και τοποθετούμε το δείγμα σε συσκευή μηχανικής ανάδευσης για διάστημα 16 ωρών (Εικ.2.7). Στη συνέχεια διηθούμε το δείγμα με φίλτρα των 0,45 μm . Το διήθημα είναι έτοιμο προς μέτρηση με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (Σκούλλος & Δασενάκης 1992). Στη συνέχεια το διάλυμα αποθηκεύτηκε σε πλαστικά φιαλίδια 50ml (falcon) και διατηρήθηκε στο ψυγείο στους 4 $^{\circ}\text{C}$ μέχρι την μέτρησή του.



Εικόνα 2.7 : Συσκευή μηχανικής ανάδευσης δειγμάτων

2.5 Αναλυτική μέθοδος

2.5.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

Με τον όρο ατομική φασματοσκοπία χαρακτηρίζεται ένα σύνολο φασματοσκοπικών τεχνικών ανάλυσης που βασίζονται στην αλληλεπίδραση ατόμων με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ατομική φασματοσκοπία βασίζεται στην ατομοποίηση δείγματος σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ατόμων με μέτρηση είτε της απορρόφησης, είτε της εκπομπής, είτε του φθορισμού στο χαρακτηριστικό μήκος κύματος κάθε στοιχείου (Λιοδάκης 2003).

Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) εισήχθη στην Αυστραλία το 1955 από τον Walsh και τους συνεργάτες του και βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας ορισμένου μήκους κύματος από τα άτομα των στοιχείων του δείγματος. Είναι μια εύχρηστη τεχνική για τον προσδιορισμό στοιχείων σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και μεγάλη ποικιλία δειγμάτων. Έχει πολλές εφαρμογές, όπως στην περιβαλλοντική χημική ανάλυση, στον έλεγχο

τροφίμων στη γεωλογία, στην πετροχημεία, στη μεταλλουργία, στην ανάλυση βιομηχανικών προϊόντων. (Λιοδάκης 2003).

Το φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης αποτελείται από το μηχανικό τμήμα παραγωγής ατόμων από το δείγμα και το οπτικό τμήμα όπου γίνεται η ατομική απορρόφηση της εξωτερικής πηγής ακτινοβολίας. Αρχικά το προς ανάλυση δείγμα υποβάλλεται σε ατομοποίηση, παίρνει δηλαδή τη μορφή ατόμων. Για να γίνει αυτό, το υγρό δείγμα αναρροφάται στον εκνεφωτή και μετατρέπεται σε λεπτότητες σταγόνες. Τα σταγονίδια αυτά μετά από μια σειρά εμποδίων και απωλειών εισέρχονται στη φλόγα. Τα άτομα που σχηματίζονται στη φλόγα, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση, διαπερνούν την οπτική δέσμη της πηγής ακτινοβολίας και διεγείρονται. Η απορρόφησή τους καταγράφεται με τη βοήθεια ενός συστήματος μονοχρώματα και ανιχνευτή. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του στοιχείου που προσδιορίζουμε. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος ατομοποίησης είναι η ατομοποίηση με φλόγα για συγκεντρώσεις της τάξεως των mg/Kg (ppm). Η θερμοκρασία της φλόγας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου και του οξειδωτικού που χρησιμοποιείται και ο συνηθέστερος συνδυασμός είναι ακετυλένιο και αέρας, ώστε να επιτυγχάνεται θερμοκρασία μέχρι 2550°C . Θεμελιώδης απαίτηση είναι η εισαγωγή του δείγματος στη φλόγα με σταθερό και ομοιόμορφο τρόπο (Λιοδάκης 2003, Αργυράκη 2007).

2.5.2 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

Τα μέταλλα που αναλύθηκαν με ατομική απορρόφηση είναι το κοβάλτιο (Co), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni), ο μόλυβδος (Pb) και ο ψευδάργυρος (Zn). Ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων των διαλυμένων δειγμάτων

πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της πρότυπης καμπύλης, μετά την βαθμονόμηση του οργάνου με πρότυπα γνωστής συγκέντρωσης και με το τυφλό δείγμα. Ο φασματογράφος ήταν προγραμματισμένος να λαμβάνει 3 μετρήσεις απορρόφησης για κάθε δείγμα, δίνοντας έτσι το μέσο όρο των μετρήσεων αυτών. Τα αποτελέσματα δίνονται σε mg/l με τη χρήση της καμπύλης βαθμονόμησης και στη συνέχεια γίνεται αναγωγή των αποτελεσμάτων στα αρχικά (στερεά) δείγματα σε mg/Kg .

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωχημείας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τη βοήθεια φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer τύπου AAnalyst 400 (Εικ.2.8).



Εικόνα 2.8: Φασματόμετρο Perkin Elmer 400

2.6 Κριτήρια προσδιορισμού περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας από τις συγκεντρώσεις των αναλυθέντων στοιχείων, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς (Long & Morgan 1991, Persaud et al. 1993, Long et al. 1995, MacDonald et al. 1996, Smith et al. 1996, MacDonald et al. 2000).

2.6.1 Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs)

Τα κριτήρια ποιότητας που ισχύουν για τα ιζήματα, έχουν δημιουργηθεί για όλα τα διαβαθμισμένα περιβαλλοντικά μέταλλα και τοξικές οργανικές ενώσεις με βάση τα συμπεράσματα από τοξικολογικές μελέτες σε συγκρίσιμες χημικές και βιολογικές συνθήκες (MacDonald et al. 2000). Οι ομάδες των κριτηρίων ποιότητας ιζημάτων για τα εσωτερικά ύδατα περιλαμβάνονται στα αντίστοιχα κριτήρια που προσδιορίζονται από την USEPA (United States Environmental Protection Agency) για την ασφαλή εκτίμηση της ρύπανσης και της τοξικής δράσης των μετάλλων στα ιζήματα (EPA 905-B02-001-B, December 2002) και χρησιμοποιούνται διεθνώς σε περιβαλλοντικές μελέτες (Burton 2002, Zabetoglou et al. 2002, Pertsemli & Voutsas 2007, Hou et al. 2009).

Τα σύνολα - ομάδες κριτηρίων ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τα: ERM-ERL κατά Long & Morgan (1991), PEL-TEL κατά Smith et al. (1996) και SEL-LEL κατά Persaud et al. (1993).

Σύμφωνα με τον Long & Morgan (1991) τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων με βάση την τοξικότητά τους στις βιοκοινωνίες των ιζημάτων είναι τα παρακάτω:

ERM (effect range median-μέσο επίπεδο επίδρασης): Αντιπροσωπεύει τη χημική συγκέντρωση των μετάλλων πάνω από την οποία οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς θα εμφανίζονται συχνά.

ERL (effect range low-χαμηλό επίπεδο επίδραση): Αντιπροσωπεύει τη χημική συγκέντρωση των μετάλλων κάτω από την οποία οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς θα παρατηρούνται σπάνια.

Τα ιζήματα κρίνονται ρυπασμένα ως προς κάποιο μέταλλο και υπάρχει τοξική δράση στους βενθικούς οργανισμούς όταν οι τιμές των συγκεντρώσεων του είναι μεγαλύτερες των τιμών των δύο κριτηρίων. Όταν η συγκέντρωση του μετάλλου είναι μεγαλύτερη μόνο του χαμηλότερου κριτηρίου, τότε το ίζημα κρίνεται μέτρια ρυπασμένο.

Σύμφωνα με τον Smith et al. (1996) τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων με βάση την τοξικότητά τους στις βιοκοινωνίες των ιζημάτων είναι τα παρακάτω:

PEL (probable effect level-πιθανό επίπεδο επίδρασης): Αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση των μετάλλων πάνω από την οποία οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν συχνά.

TEL (threshold effect level-κατώτατο όριο επίδρασης): Αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση των μετάλλων κάτω από την οποία οι δυσμενείς τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν μόνο σπάνια.

Τα ιζήματα κρίνονται ρυπασμένα ως προς κάποιο μέταλλο και υπάρχει τοξική δράση στους οργανισμούς των ιζημάτων, εάν οι τιμές του υπερβαίνουν τις τιμές των δυο κριτηρίων, ενώ το ίζημα κρίνεται μέτρια ρυπασμένο όταν οι τιμές της συγκέντρωσης του μετάλλου υπερβαίνουν μόνο το χαμηλότερο κριτήριο.

Τέλος σύμφωνα με τον Persaud et al. (1993) τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων με βάση την τοξικότητά τους στις βιοκοινωνίες των ιζημάτων είναι τα παρακάτω:

SEL (Severe effect level–οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης): Δυσμενείς επιδράσεις αναμένεται να εμφανιστούν στην πλειοψηφία των οργανισμών του ιζήματος όταν η συγκέντρωση των στοιχείων ξεπεράσει το όριο αυτό και τα ιζήματα θεωρούνται βαριά ρυπασμένα.

LEL (Lowest effect level–οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης): Κάτω από το όριο αυτό δεν αναμένεται καμιά τοξική επίδραση στην πλειοψηφία των οργανισμών που ζουν στο ίζημα και το ίζημα θεωρείται μη ρυπασμένο.

Τα ιζήματα κρίνονται πολύ ρυπασμένα ως προς κάποιο μέταλλο και υπάρχει τοξική δράση, εάν ξεπερνιούνται και τα δυο κριτήρια, ρυπασμένα αν ξεπερνιέται κάθε ένα κριτήριο, μέτρια ρυπασμένα, αν ξεπερνιέται το χαμηλότερο κριτήριο και μη ρυπασμένα, αν δεν ξεπερνιέται κανένα κριτήριο (Persaud et al. 1993).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

3.1.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης.

Για το κοβάλτιο (Co) η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 13 ppm στο δείγμα R₁₂ έως 26 ppm στο δείγμα R₄ με μέση τιμή τα 19 ppm, ενώ η συγκέντρωση του χρωμίου (Cr) μεταξύ 141 ppm στο δείγμα R₁₂ έως 355 ppm στο δείγμα R₂ με μέση τιμή τα 285 ppm. Η συγκέντρωση του χαλκού (Cu) κυμαίνεται από 18 ppm στο δείγμα R₁₅ έως 49 ppm στο δείγμα R₂ με μέση τιμή τα 35 ppm. Για το νικέλιο (Ni) η συγκέντρωση κυμαίνεται από τα 101 ppm στα δείγματα R₁₂ και R₁₆ έως τα 194 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 158 ppm ενώ, για το μόλυβδο (Pb) η συγκέντρωση προσδιορίστηκε μεταξύ των 28 ppm στο δείγμα R₇ και 43 ppm στο δείγμα R₁₃ με μέση τιμή τα 35 ppm. Τέλος, για τον ψευδάργυρο (Zn) προσδιορίστηκε συγκέντρωση που κυμαίνεται από τα 44 ppm στο δείγμα R₁₅ έως τα 66 ppm στα δείγματα R₅ και R₉ με μέση τιμή τα 57 ppm.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας. Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων (σε ppm) έγινε με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS).

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Στοιχεία Σημεία Δειγματοληψίας		Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	R1	20	347	39	188	30	63
2	R2	23	355	49	180	31	60
3	R3	23	309	47	187	31	58
4	R4	26	284	45	179	29	57
5	R5	25	316	44	183	35	66
6	R6	16	322	46	194	35	65
7	R7	17	227	38	166	28	56
8	R8	18	344	33	178	38	55
9	R9	17	325	38	182	38	66
10	R10	21	348	29	174	39	59
11	R11	20	256	40	140	40	59
12	R12	13	141	26	101	31	47
13	R13	19	246	27	132	43	53
14	R14	14	260	24	133	41	55
15	R15	18	250	18	102	37	44
16	R16	16	235	20	101	34	47

3.1.2 Αποτελέσματα εκχύλισης «0,5 N HCl»

Η συγκέντρωση του κοβαλτίου (Co) που προσδιορίστηκε στα δείγματα ιζημάτων της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από τα 11 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 19 ppm στο δείγμα R₁₁ με μέση τιμή τα 14 ppm. Για το χρώμιο (Cr) η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε κυμαίνεται από τα 11 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 40 ppm στο δείγμα R₇ με μέση τιμή τα 28 ppm, ενώ η συγκέντρωση του χαλκού (Cu) κυμαίνεται από τα 17 ppm στο δείγμα R₁₅ έως τα 26 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 22 ppm. Για το νικέλιο (Ni) η συγκέντρωση προσδιορίστηκε μεταξύ των 42 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 57 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 49 ppm. Αντίστοιχα για το μόλυβδο (Pb) η συγκέντρωση στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από τα 16 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 23 ppm στα δείγματα R₇ και R₁₁ με μέση τιμή τα 20 ppm και για τον

ψευδάργυρο (Zn) η συγκέντρωση κυμαίνεται από τα 12 ppm στο δείγμα R₄ έως τα 20 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 16 ppm.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας που αναλύθηκαν με τη μέθοδο «0,5N HCl». Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS).

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5 N HCl » στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Στοιχεία Σημεία Δειγματοληψίας		Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	R1	14	28	20	45	18	14
2	R2	15	37	23	50	20	15
3	R3	14	30	21	46	21	14
4	R4	13	30	19	44	18	12
5	R5	15	30	24	53	20	19
6	R6	16	37	26	57	22	20
7	R7	16	40	25	55	23	18
8	R8	15	22	21	50	22	13
9	R9	11	11	18	42	16	17
10	R10	15	27	22	55	23	14
11	R11	19	35	25	50	23	19
12	R12	13	24	24	42	20	17
13	R13	16	26	22	51	21	17
14	R14	14	25	23	49	20	18
15	R15	12	16	17	42	17	14
16	R16	13	30	18	45	18	18

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης και της μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας και στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζεται το εύρος διακύμανσης και η μέση

τιμή συγκέντρωσης των αναλυθέντων χημικών στοιχείων (σε ppm) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

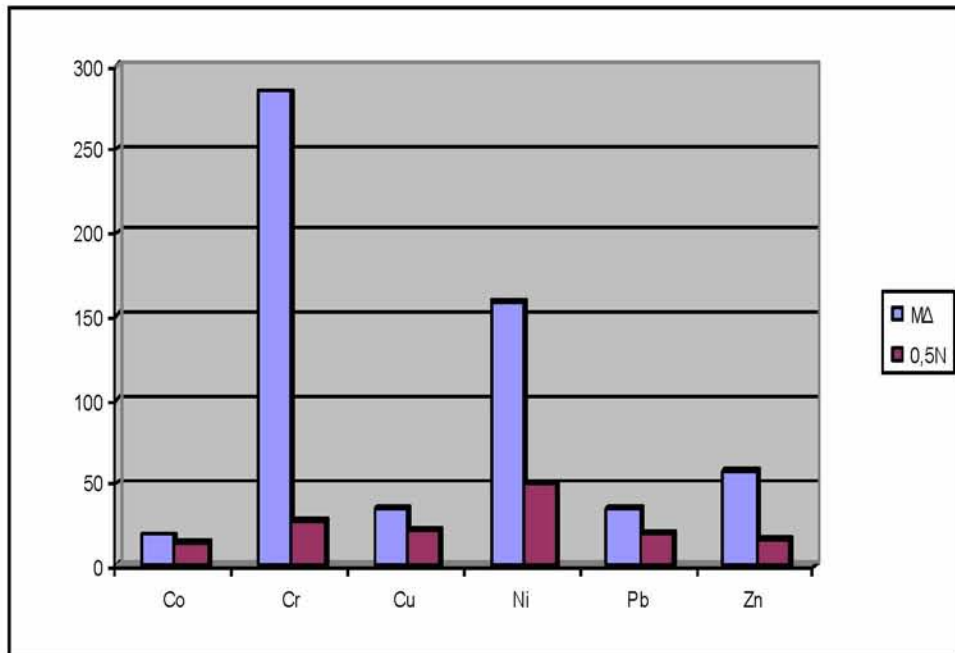
Πίνακας 3.3 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης και της μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Στοιχεία Σημεία δειγματοληψίας		Co(ppm)		Cr(ppm)		Cu(ppm)		Ni(ppm)		Pb(ppm)		Zn(ppm)	
		ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N
1	R1	20	14	347	28	39	20	188	45	30	18	63	14
2	R2	23	15	355	37	49	23	180	50	31	20	60	15
3	R3	23	14	309	30	47	21	187	46	31	21	58	14
4	R4	26	13	284	30	45	19	179	44	29	18	57	12
5	R5	25	15	316	30	44	24	183	53	35	20	66	19
6	R6	16	16	322	37	46	26	194	57	35	22	65	20
7	R7	17	16	227	40	38	25	166	55	28	23	56	18
8	R8	18	15	344	22	33	21	178	50	38	22	55	13
9	R9	17	11	325	11	38	18	182	42	38	16	66	17
10	R10	21	15	348	27	29	22	174	55	39	23	59	14
11	R11	20	19	256	35	40	25	140	50	40	23	59	19
12	R12	13	13	141	24	26	24	101	42	31	20	47	17
13	R13	19	16	246	26	27	22	132	51	43	21	53	17
14	R14	14	14	260	25	24	23	133	49	41	20	55	18
15	R15	18	12	250	16	18	17	102	42	37	17	44	14
16	R16	16	13	235	30	20	18	101	45	34	18	47	18

Πίνακας 3.4: Εύρος διακύμανσης και μέση τιμή συγκέντρωσης των αναλυθέντων χημικών στοιχείων (σε ppm) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Εύρος διακύμανσης και μέση τιμή συγκέντρωσης αναλυθέντων χημικών στοιχείων		
Στοιχεία	Συγκέντρωση στοιχείων με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης	Συγκέντρωση στοιχείων με τη μεθόδου «0,5 N HCl»
Co	19 (13-26)	14 (11-19)
Cr	285 (141-355)	28 (11-40)
Cu	35 (18-49)	22 (17-26)
Ni	158 (101-194)	49 (42-57)
Pb	35 (28-43)	20 (16-23)
Zn	57 (44-66)	16 (12-20)

Με βάση τη μέση συγκέντρωση των χημικών στοιχείων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα των ιζημάτων της περιοχής έρευνας κατασκευάστηκε το διάγραμμα μέσης συγκέντρωσης του σχήματος 3.1.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα μέσης συγκέντρωσης (σε ppm) των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

3.2 Γεωχημικοί χάρτες

Οι τιμές συγκέντρωσης των αναλυθέντων χημικών στοιχείων που προσδιορίστηκαν στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας από τις αναλυτικές εργασίες αποτυπώθηκαν σε αντίστοιχους γεωχημικούς χάρτες για το κάθε στοιχείο με βοήθεια του προγράμματος Arc GIS 9 - Version 9.3 (ArcMap, ArcCatalog).

Για την κατασκευή των χαρτών προσδιορίστηκε ο αριθμός των κλάσεων για κάθε ιχνοστοιχείο. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιήθηκαν 5 κλάσεις για την αναπαράσταση

της κατανομής των συγκεντρώσεων των στοιχείων και η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Βρίσκουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης του χημικού στοιχείου.
- Υπολογίζουμε το εύρος του δείγματος, αφαιρώντας την ελάχιστη από τη μέγιστη τιμή.
- Διαιρούμε το εύρος με τον αριθμό των κλάσεων που θέλουμε να δημιουργήσουμε και το αποτέλεσμα είναι το βήμα με το οποίο φτιάχνουμε τις κλάσεις.
- Για κάθε στοιχείο προσδιορίστηκαν επίσης η μέση τιμή, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, το εύρος καθώς και το πλήθος των δειγμάτων.

3.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης

Κοβάλτιο (Co)

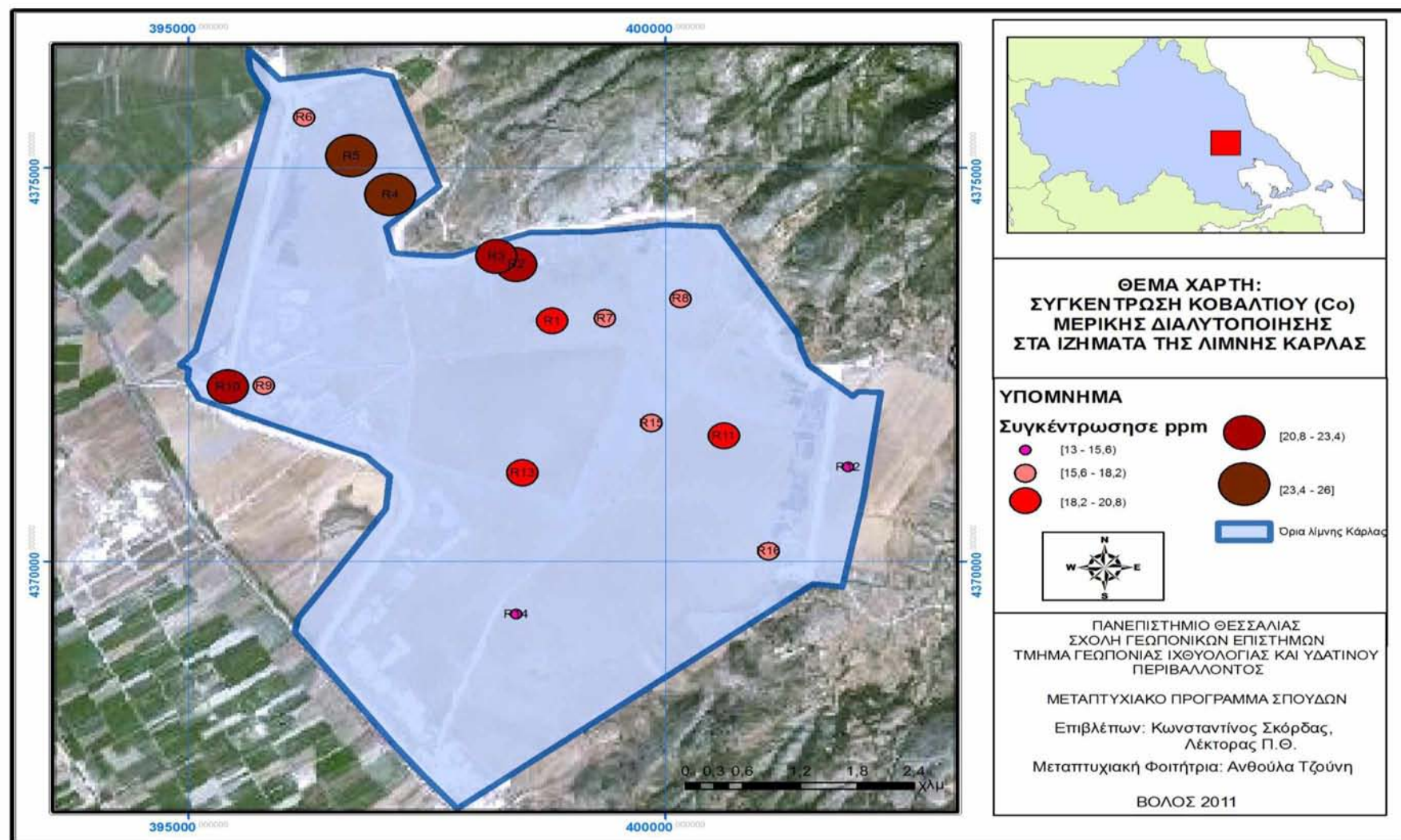
Στον Πίνακα 3.5 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το κοβάλτιο (Co).

Πίνακας 3.5: Στατιστικά στοιχεία Co

Παράμετροι	Co
Μέση τιμή	19
Ελάχιστη τιμή	13
Μέγιστη τιμή	26
Εύρος	13
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του κοβαλτίου (Co) (Σχ.3.2) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 13-15,6 ppm, 15,6-18,2 ppm, 18,2-20,8 ppm, 20,8-23,4 ppm,

23,4-26 ppm με βήμα κλάσης 2,6. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του κοβαλτίου (Co). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του κοβαλτίου (Co) παρατηρούνται στα σημεία R₄, R₅ στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής και ακολουθούν τα σημεία δειγματοληψίας R₂, R₃ στο βόρειο τμήμα και το σημείο δειγματοληψίας R₁₀ στα δυτικά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.2: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης κοβαλτίου (Co) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

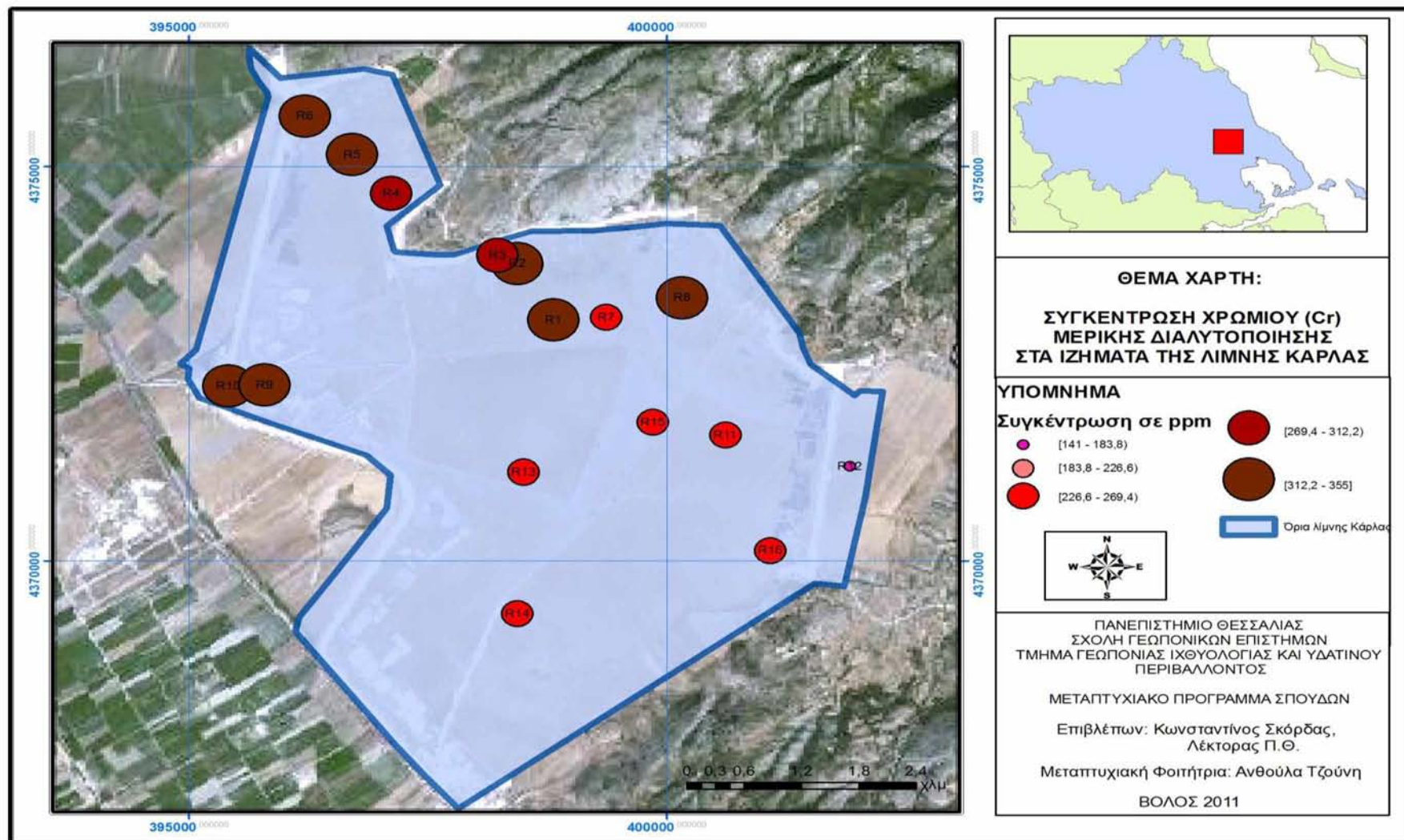
Χρώμιο (Cr)

Στον Πίνακα 3.6 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χρώμιο (Cr).

Πίνακας 3.6: Στατιστικά στοιχεία Cr

Παράμετροι	Cr
Μέση τιμή	185
Ελάχιστη τιμή	141
Μέγιστη τιμή	355
Εύρος	214
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του χρωμίου (Cr) (Σχ.3.3) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 141-183,8 ppm, 183,8-226,6 ppm, 226,6-269,4 ppm, 269,4-312,2 ppm, 312,2-355 ppm με βήμα κλάσης 42,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του χρωμίου. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο βόρειο-βορειοδυτικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης και στα σημεία R₁, R₂, R₅, R₆, R₈, R₉, R₁₀, ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα σημεία R₃, και R₄.



Σχήμα 3.3: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης χρωμίου (Cr) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

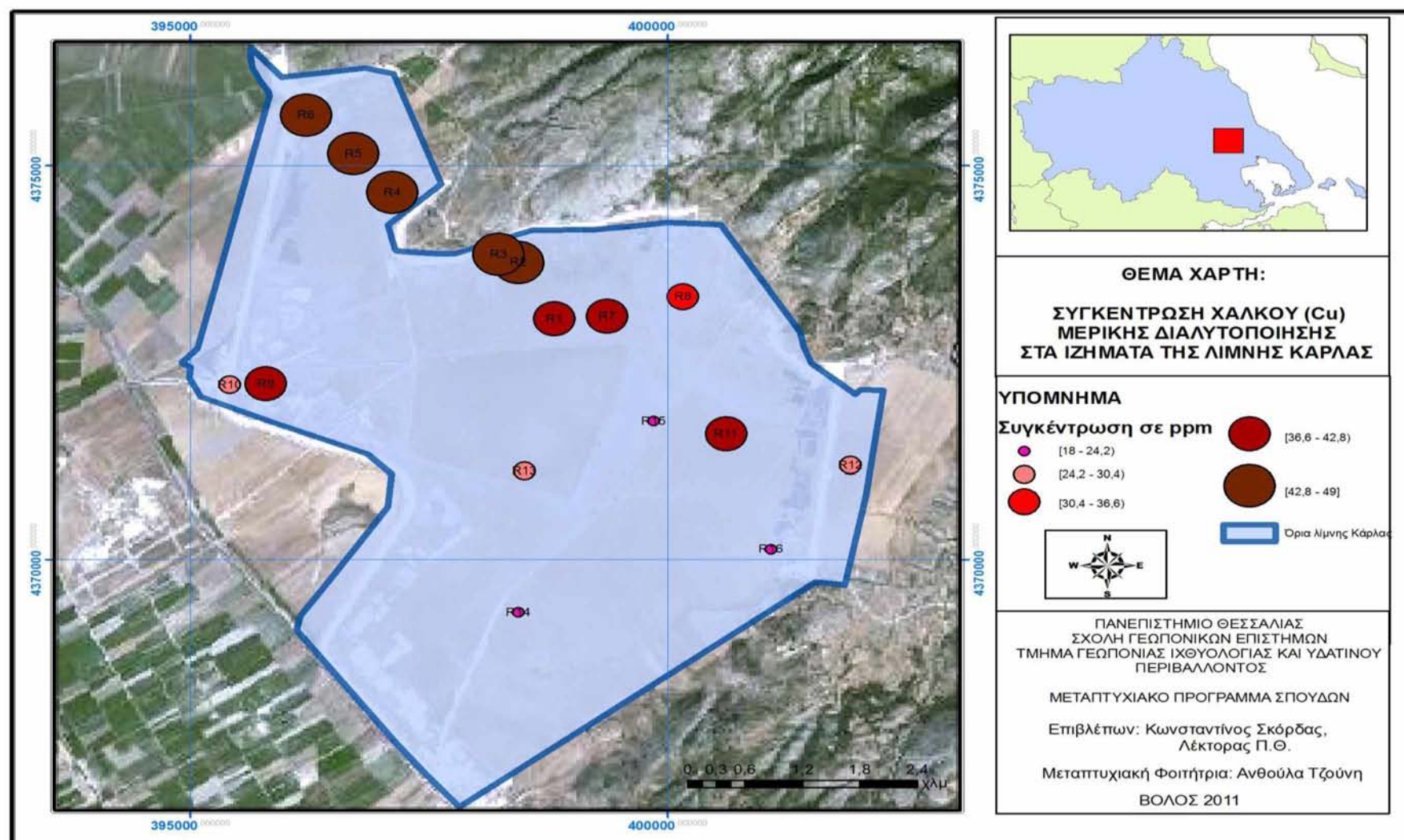
Χαλκός (Cu)

Στον Πίνακα 3.7 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χαλκό (Cu).

Πίνακας 3.7: Στατιστικά στοιχεία Cu

Παράμετροι	Cu
Μέση τιμή	35
Ελάχιστη τιμή	18
Μέγιστη τιμή	49
Εύρος	31
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του χαλκού (Cu) (Σχ.3.4) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 18-24,2 ppm, 24,2-30,4 ppm, 30,4-36,6 ppm, 36,6-42,8 ppm, 42,8-49 ppm με βήμα κλάσης 6,2. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του χαλκού. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χαλκού (Cu) παρατηρούνται στα σημεία δειγματοληψίας R₂, R₃, R₄, R₅, R₆ στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και ακολουθούν τα σημεία R₁, R₇, R₉, και R₁₁ στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας με εξαίρεση το σημείο R₉ που βρίσκεται στα δυτικά της περιοχής έρευνας κοντά στην είσοδο του αντλιοστασίου DP₁.



Σχήμα 3.4: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης χαλκού (Cu) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

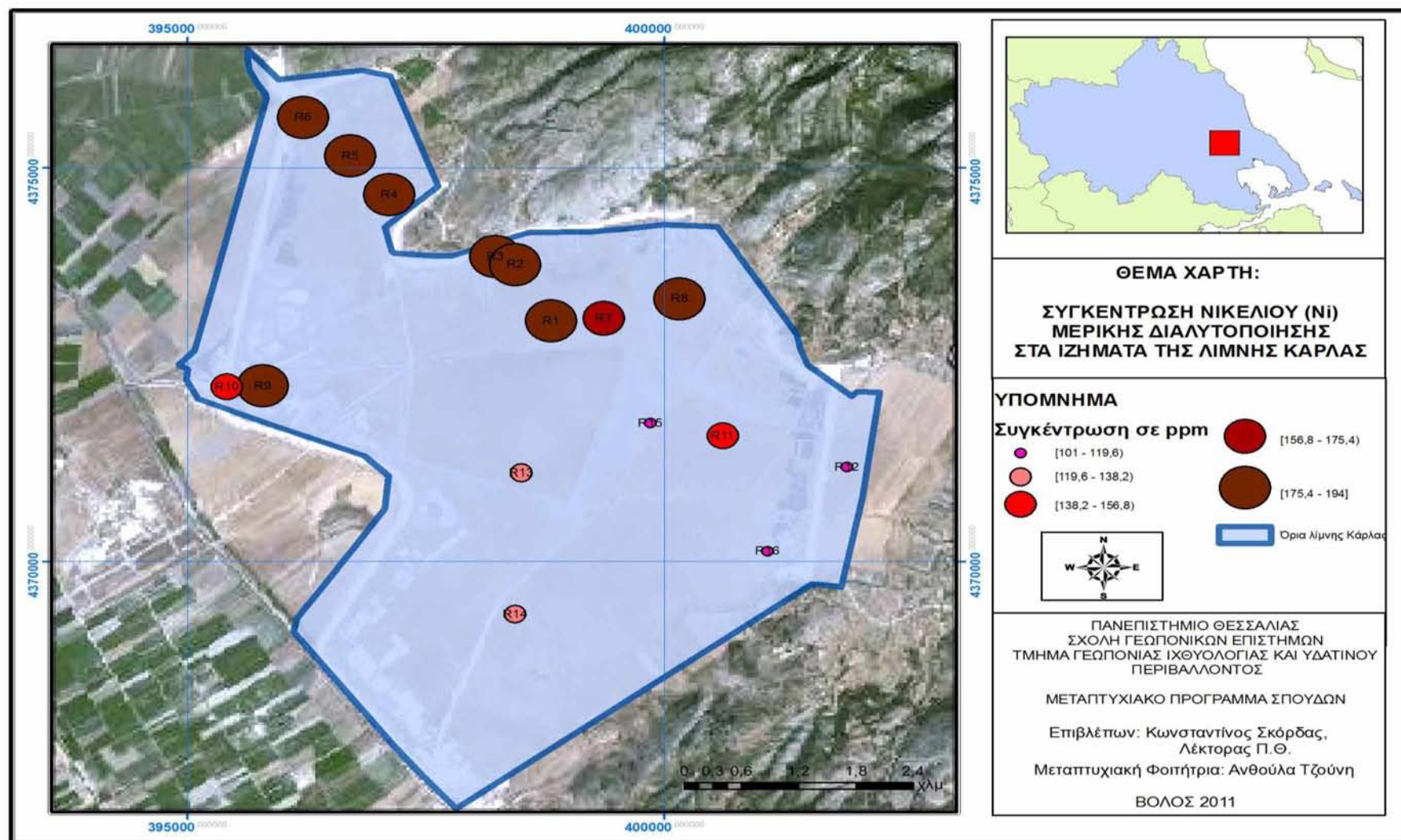
Νικέλιο (Ni)

Στον Πίνακα 3.8 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το νικέλιο (Ni).

Πίνακας 3.8: Στατιστικά στοιχεία Ni

Παράμετροι	Ni
Μέση τιμή	185
Ελάχιστη τιμή	141
Μέγιστη τιμή	355
Εύρος	214
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του νικελίου (Ni) (Σχ.3.5) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 101-119,6 ppm, 119,6-138,2 ppm, 138,2-156,8 ppm, 156,8-175,4 ppm, 175,4-194 ppm με βήμα κλάσης 18,6. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του νικελίου (Ni). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του νικελίου (Ni) παρατηρούνται στο βόρειο-βορειοανατολικό και δυτικό-βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης στα σημεία R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₈, R₉, και έπονται τα σημεία R₇ και R₁₀.



Σχήμα 3.5: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης νικελίου (Ni) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

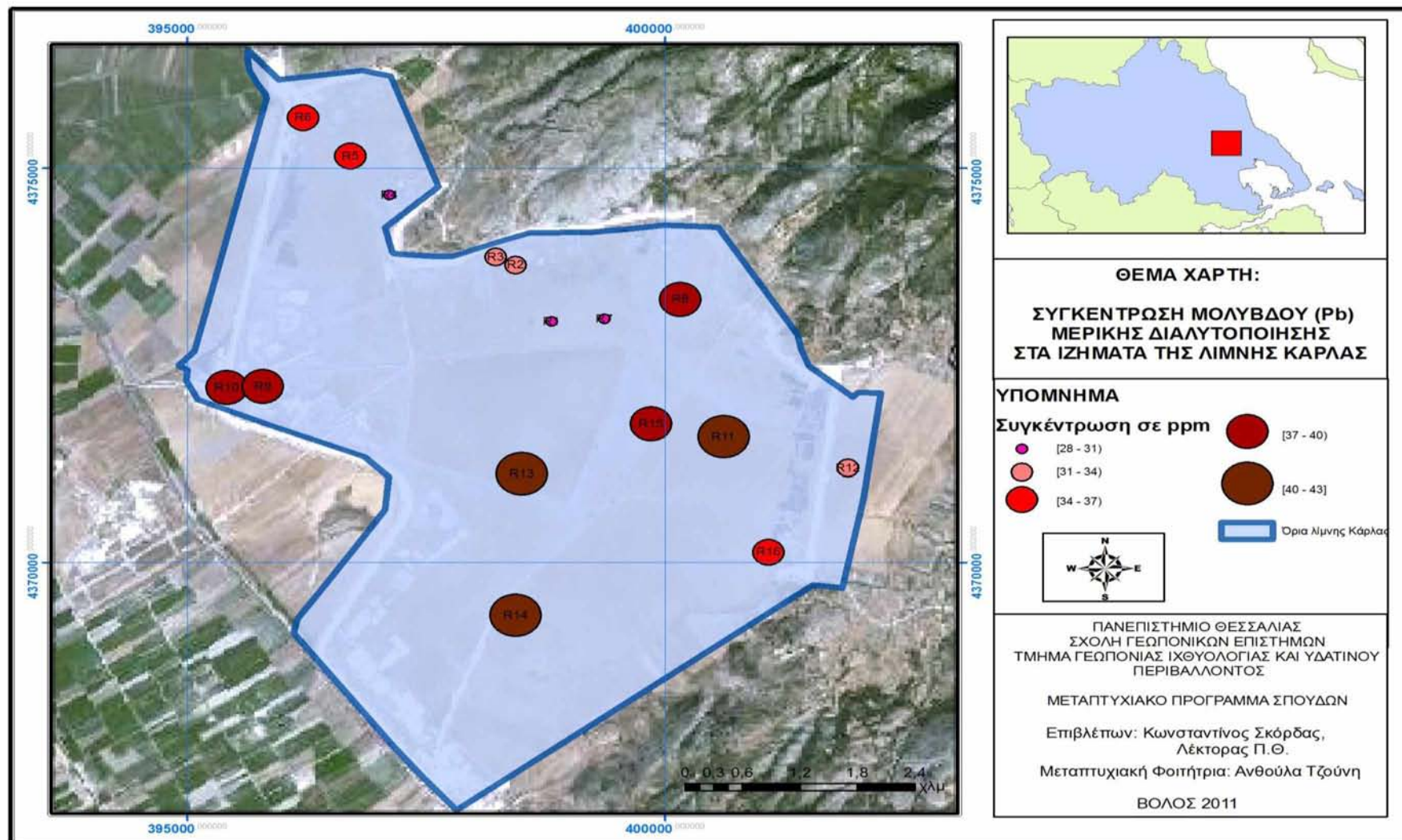
Μόλυβδος (Pb)

Στον Πίνακα 3.9 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το μόλυβδο (Pb).

Πίνακας 3.9: Στατιστικά στοιχεία Pb

Παράμετροι	Pb
Μέση τιμή	35
Ελάχιστη τιμή	28
Μέγιστη τιμή	43
Εύρος	15
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του μολύβδου (Pb) (Σχ.3.6) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 28-31 ppm, 31-34 ppm, 34-37 ppm, 37-40 ppm, 40-43 ppm με βήμα κλάσης 3. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης στα σημεία R₁₁, R₁₃, R₁₄ και οι αμέσως μικρότερες συγκεντρώσεις στα σημεία R₉, R₁₀ στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και στα σημεία R₈ και R₁₅ στα ανατολικά και νοτιοανατολικά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.6: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης μολύβδου (Pb) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

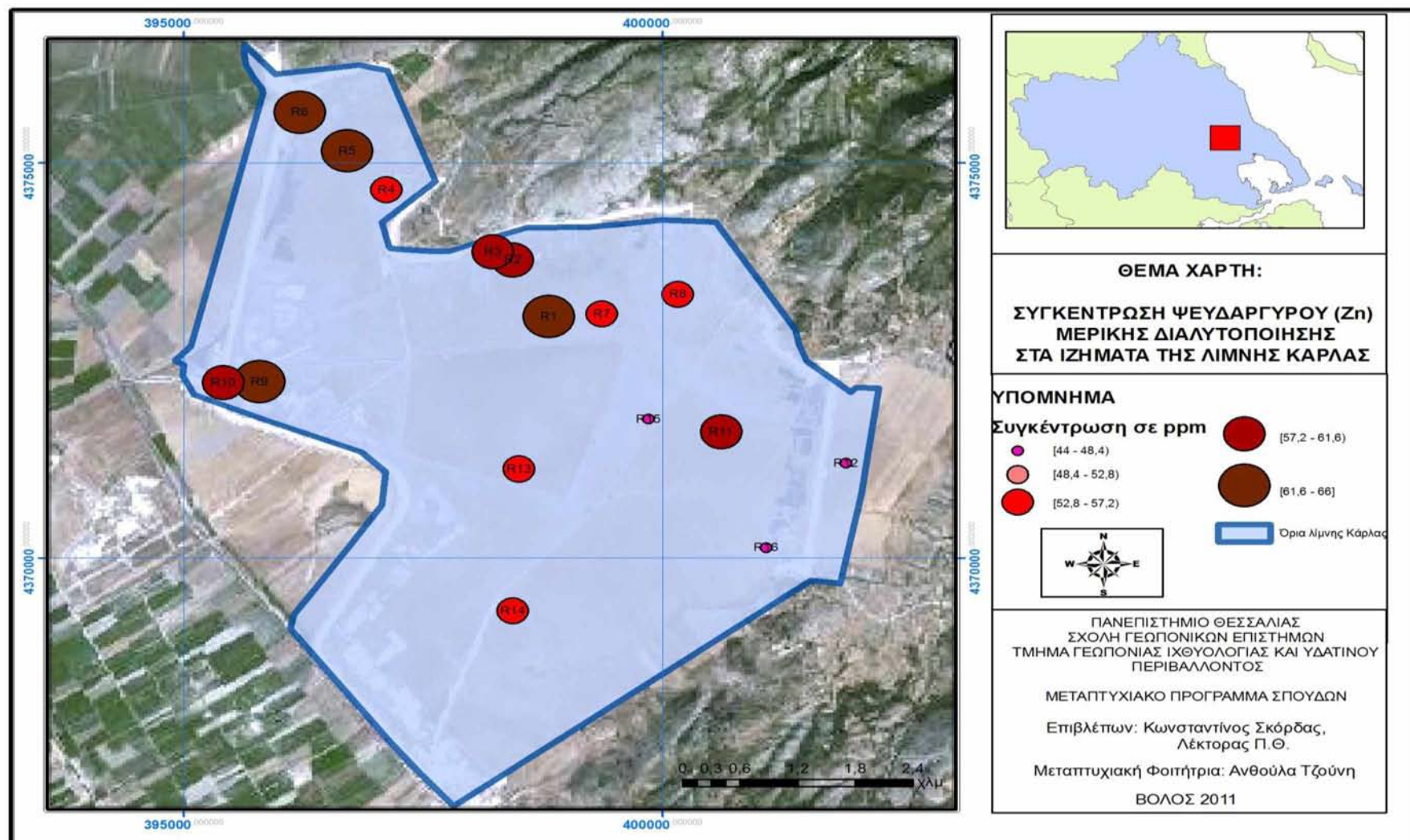
Ψευδάργυρος (Zn)

Στον Πίνακα 3.10 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για τον ψευδάργυρο (Zn).

Πίνακας 3.10: Στατιστικά στοιχεία Zn

Παράμετροι	Zn
Μέση τιμή	57
Ελάχιστη τιμή	44
Μέγιστη τιμή	66
Εύρος	22
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του ψευδαργύρου (Zn) (Σχ.3.7) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 44-48,4 ppm, 48,4-52,8 ppm, 52,8-57,2 ppm, 57,2-61,6 ppm, 61,6-66 ppm με βήμα κλάσης 4,4. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου (Zn). Ειδικότερα οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου παρατηρούνται στο βόρειο-βορειοδυτικό και δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R₁, R₅, R₆, R₉. Μικρότερες συγκεντρώσεις παρατηρούμε στα σημεία δειγματοληψίας R₂, R₃, R₁₀ και R₁₁ στα βόρεια και νοτιοανατολικά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.7: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης ψευδαργύρου (Zn) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

3.2.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδου « 0,5 N HCl »

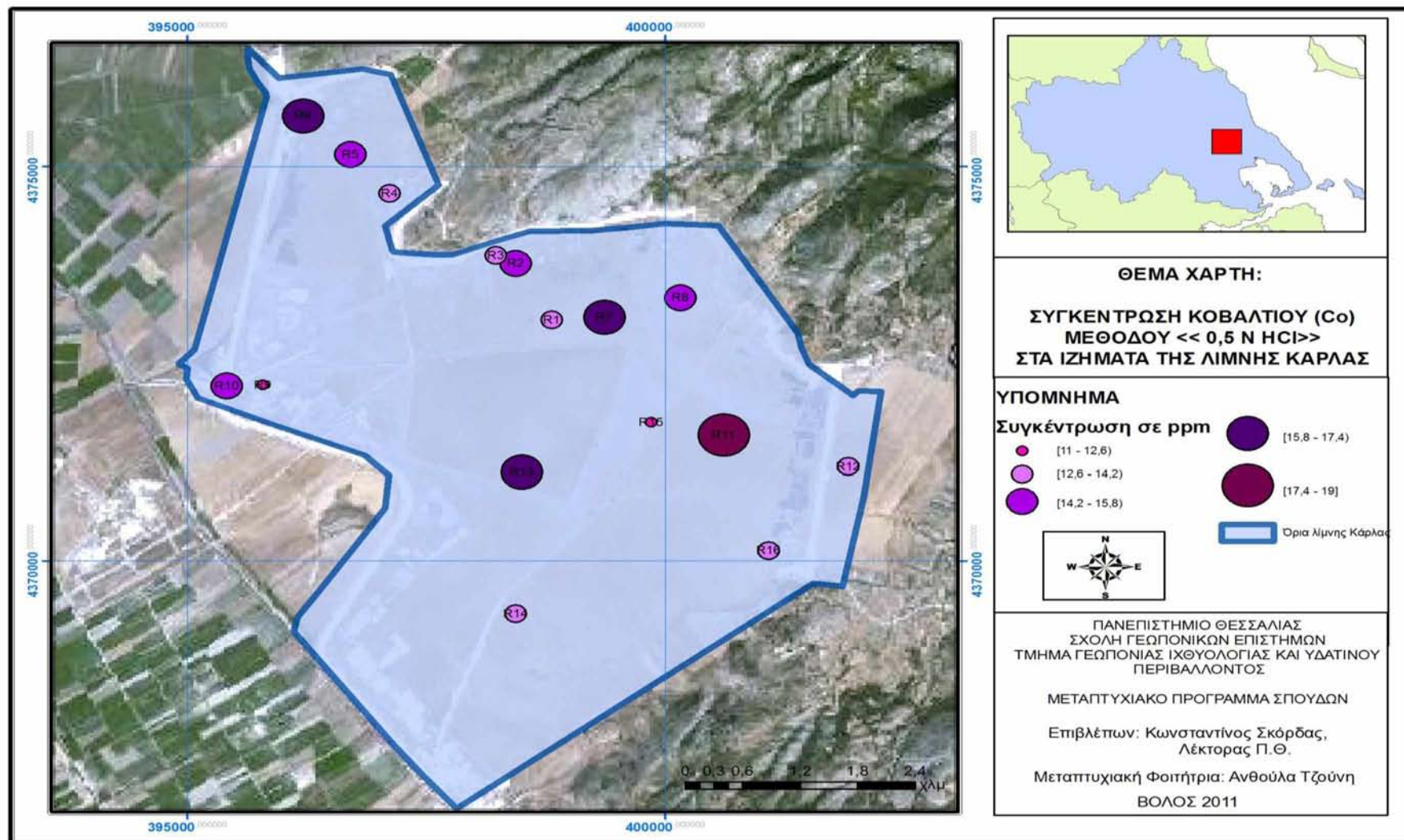
Κοβάλτιο (Co)

Στον πίνακα 3.11 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το κοβάλτιο (Co) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

Πίνακας 3.11: Στατιστικά στοιχεία Co

Παράμετροι	Co
Μέση τιμή	14
Ελάχιστη τιμή	11
Μέγιστη τιμή	19
Εύρος	8
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του κοβαλτίου (Co) (Σχ.3.8) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 11-12,6 ppm, 12,6-14,2 ppm, 14,2-15,8 ppm, 15,8-17,4 ppm, 17,4-19 ppm με βήμα κλάσης 1,6. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του κοβαλτίου (Co). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο σημείο R₁₁, που βρίσκεται κοντά στο αντλιοστάσιο DP₂ στο ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας. Μικρότερες συγκεντρώσεις κοβαλτίου (Co) παρατηρούμε στα σημεία δειγματοληψίας R₆ (στα βορειοδυτικά της περιοχής κοντά στην είσοδο του συλλεκτήρα Σ₃), R₇ και στο σημείο R₁₃, στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.8: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης κοβαλτίου (Co) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

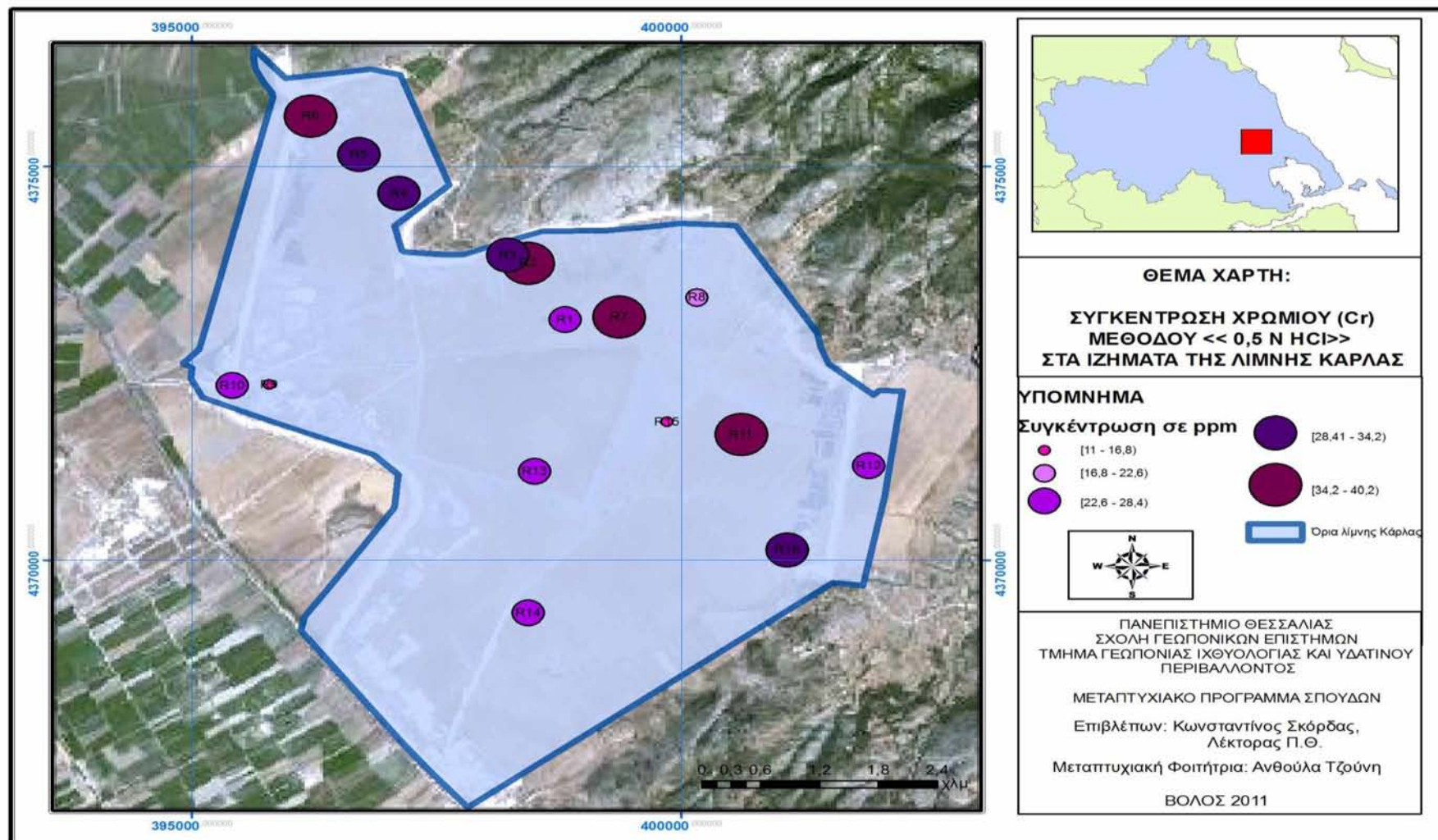
Χρώμιο (Cr)

Στον πίνακα 3.12 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χρώμιο (Cr) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

Πίνακας 3.12: Στατιστικά στοιχεία Cr

Παράμετροι	Cr (ppm)
Μέση τιμή	28
Ελάχιστη τιμή	11
Μέγιστη τιμή	40
Εύρος	29
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του χρωμίου (Cr) (Σχ.3.9) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl » χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 111-16,8 ppm, 16,8-22,6 ppm, 22,6-28,4 ppm, 28,4-34,2 ppm, 34,2-40,2 ppm με βήμα κλάσης 5,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο βόρειο-βορειοδυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R₂, R₆, R₇ και R₁₁ και οι αμέσως μικρότερες συγκεντρώσεις στα σημεία δειγματοληψίας R₄, R₅ στο βορειοδυτικό τμήμα και R₁₆ στο νοτιανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.8: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης χρωμίου (Cr) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

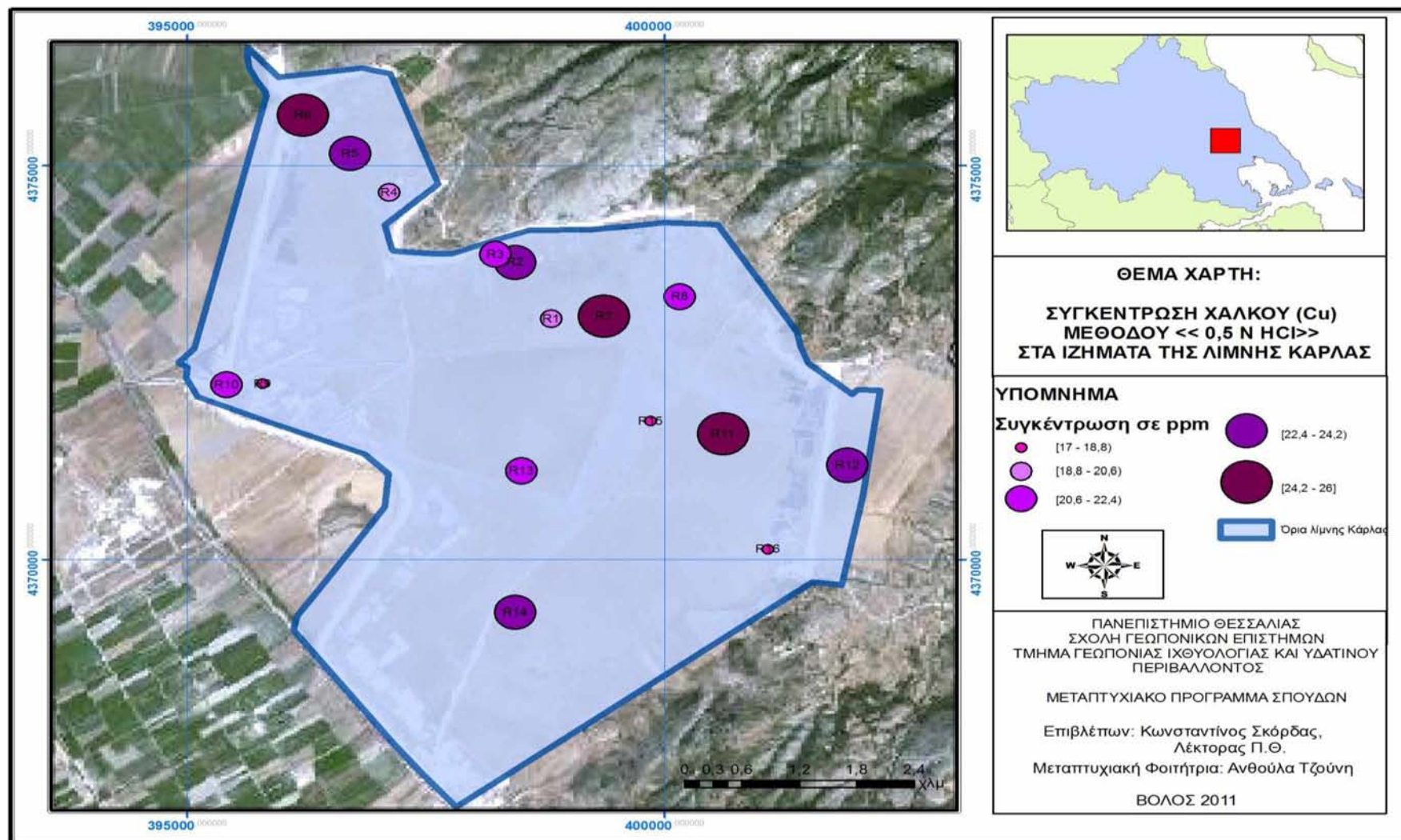
Χαλκός (Cu)

Στον πίνακα 3.13 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χαλκό (Cu) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

Πίνακας 3.13: Στατιστικά στοιχεία Cu

Παράμετροι	Cu
Μέση τιμή	22
Ελάχιστη τιμή	17
Μέγιστη τιμή	26
Εύρος	9
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του χαλκού (Cu) (Σχ.3.10) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 17-18,8 ppm, 18.8-20,6 ppm, 20,6-22,4 ppm, 22,4-24,2 ppm, 24,2-26 ppm με βήμα κλάσης 1,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του χαλκού. Ειδικότερα οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο βορειοδυτικό-βορειοανατολικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R₆, R₇ και R₁₁. Μικρότερες συγκεντρώσεις χαλκού (Cu) παρατηρούμε στα σημεία δειγματοληψίας R₂, R₅ στα βόρεια-βορειοδυτικά και R₁₂ και R₁₄ και ανατολικά και νότια της περιοχής.



Σχήμα 3.10: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης χαλκού (Cu) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

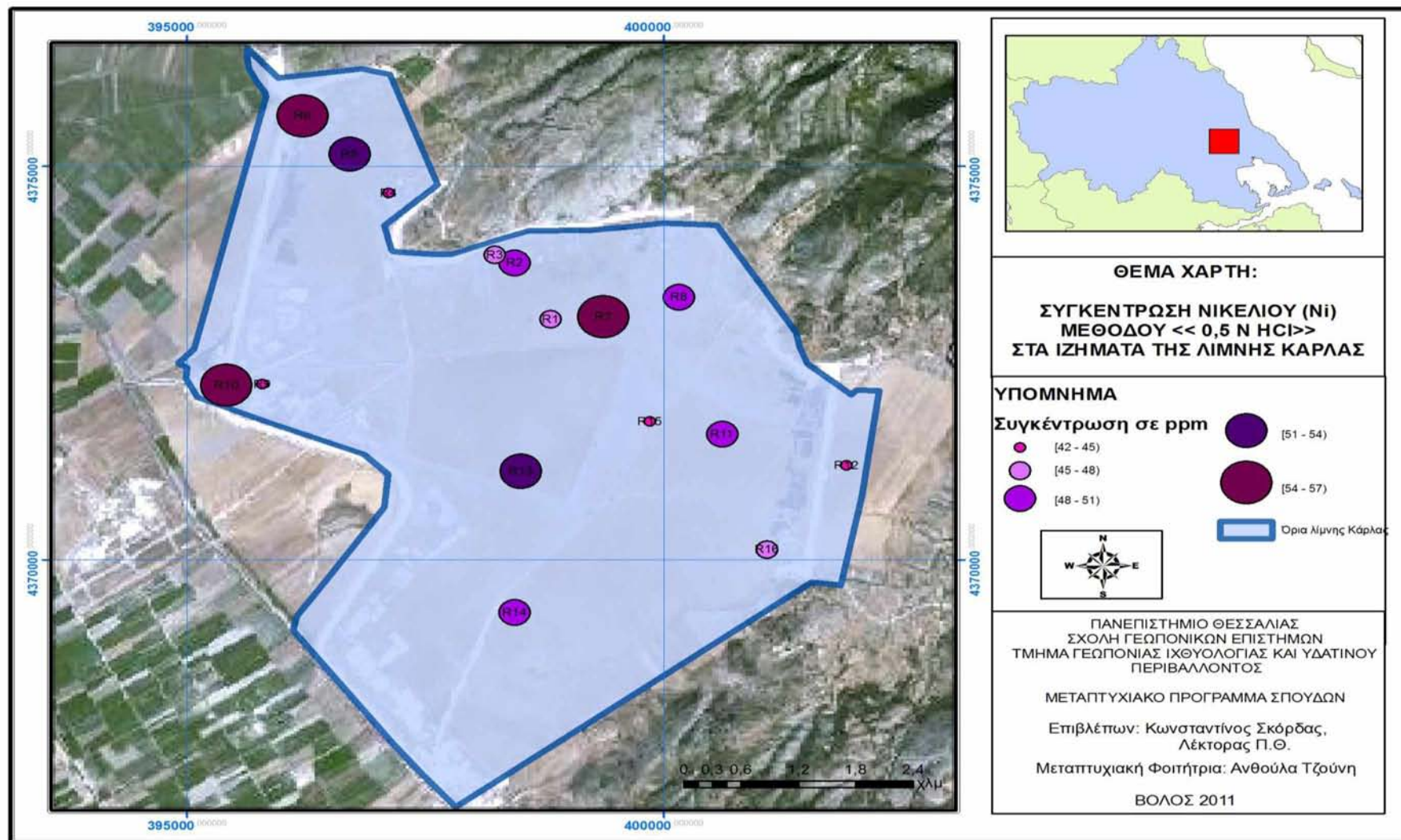
Νικέλιο (Ni)

Στον πίνακα 3.14 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το νικέλιο (Ni) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

Πίνακας 3.14: Στατιστικά στοιχεία Ni

Παράμετροι	Ni
Μέση τιμή	49
Ελάχιστη τιμή	42
Μέγιστη τιμή	57
Εύρος	15
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του νικελίου (Ni) (Σχ.3.11) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 42-45 ppm, 45-48 ppm, 48-51 ppm, 51-54 ppm, 54-57 ppm με βήμα κλάσης 3. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του νικελίου (Ni). Ειδικότερα οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα σημεία R₆, R₇ στο βόρειο ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας και στο σημείο R₁₀ στο δυτικό τμήμα της περιοχής. Μικρότερες συγκεντρώσεις νικελίου (Ni) παρατηρούμε στα σημεία δειγματοληψίας R₅, και R₁₃, που βρίσκονται αντίστοιχα στο βορειοδυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.11: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης νικελίου (Ni) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

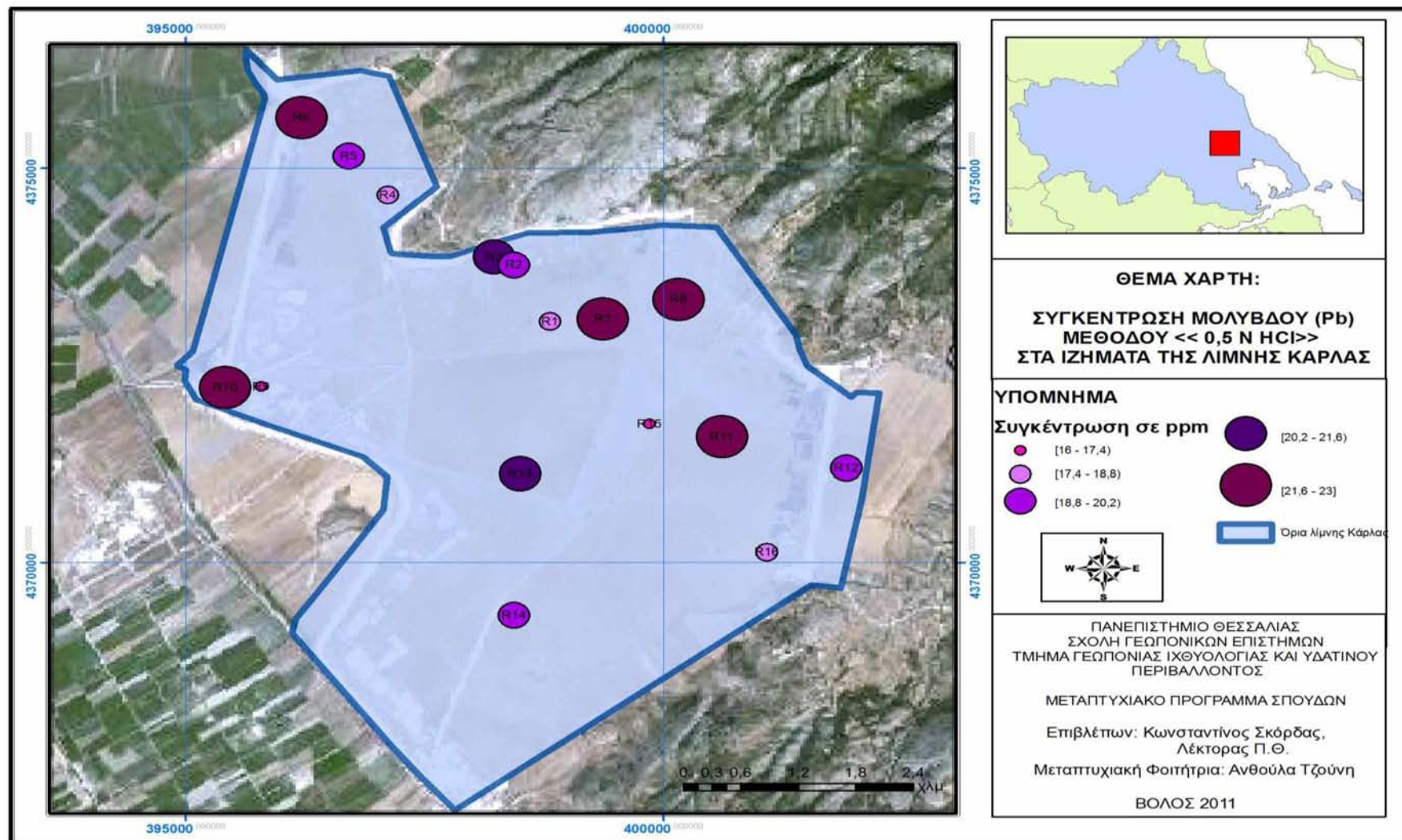
Μόλυβδος (Pb)

Στον πίνακα 3.15 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το μόλυβδο (Pb) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

Πίνακας 3.15: Στατιστικά στοιχεία Pb

Παράμετροι	Pb
Μέση τιμή	20
Ελάχιστη τιμή	16
Μέγιστη τιμή	23
Εύρος	7
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του μολύβδου (Pb) (Σχ.3.12) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 16-17,4 ppm, 17,4-18,8 ppm, 18,8-20,2 ppm, 20,2-21,6 ppm, 21,6-23 ppm με βήμα κλάσης 1,4. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μολύβδου παρατηρούνται στο βόρειο, βορειοανατολικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R₆, R₇ και R₁₁. Μικρότερες συγκεντρώσεις χαλκού παρατηρούμε στα σημεία δειγματοληψίας R₂, R₅ στα βόρειο-βορειοδυτικά και στα σημεία R₁₂ και R₁₄ στα ανατολικά και νότια της περιοχής αντίστοιχα.



Σχήμα 3.12: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης μολύβδου (Pb) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

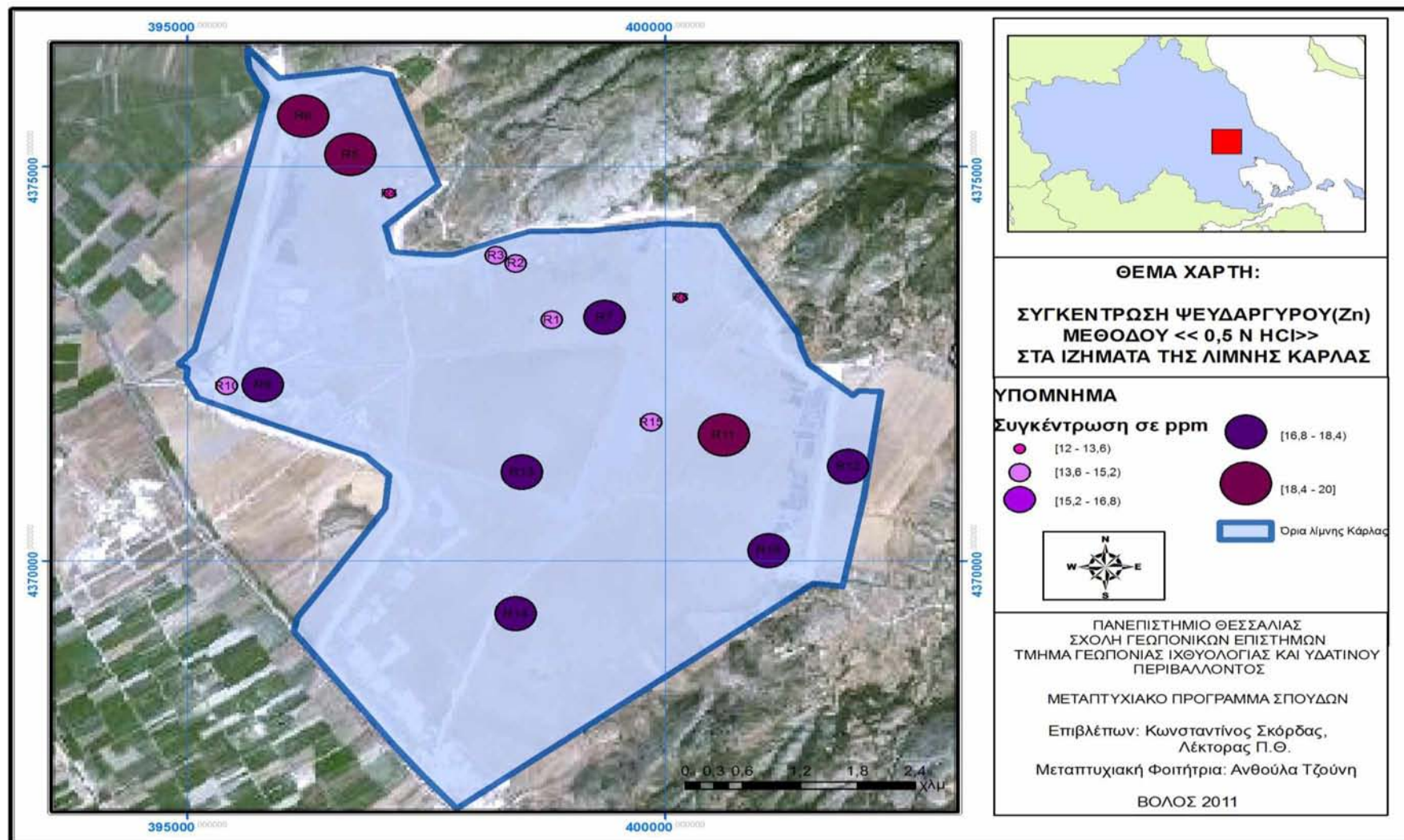
Ψευδάργυρος (Zn)

Στον πίνακα 3.16 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για τον ψευδάργυρο (Zn) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

Πίνακας 3.16: Στατιστικά στοιχεία Zn

Παράμετροι	Zn
Μέση τιμή	22
Ελάχιστη τιμή	17
Μέγιστη τιμή	26
Εύρος	9
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης του ψευδαργύρου (Zn) (Σχ.3.13) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 12-13,6 ppm, 13,6-15,2 ppm, 15,2-16,8 ppm, 16,8-18,4 ppm, 18,4-20 ppm με βήμα κλάσης 1,6. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου (Zn). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R₅, R₆ και R₁₁. Μικρότερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου (Zn) παρατηρούμε στα σημεία δειγματοληψίας R₇, R₁₂ στο βορειοανατολικό και ανατολικό τμήμα, στο σημείο R₉ στα δυτικά και στα σημεία R₁₃, R₁₄ και R₁₆ στα νότια και νοτιοανατολικά τμήματα της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.13: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης ψευδαργύρου (Zn) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

3.2.3. Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

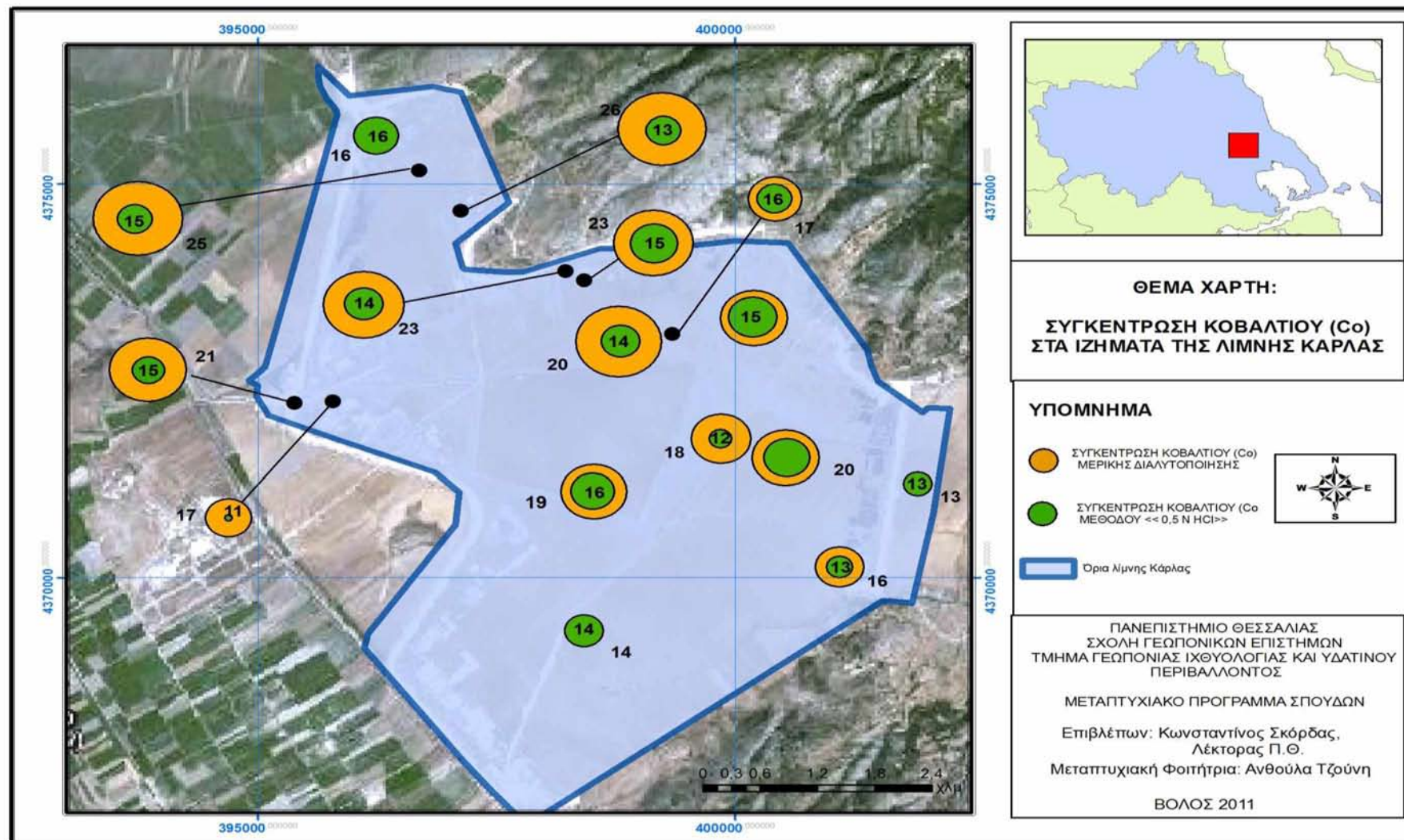
Στα σχήματα 3.14 έως 3.19 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων από τις αναλύσεις με τη μέθοδο « 0,5 N HCl » και τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Κοβάλτιο (Co)

Η συγκέντρωση του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται από 13 ppm στο δείγμα R₁₂ έως 26 ppm στο δείγμα R₄ με μέση τιμή τα 19 ppm, ενώ η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από 11 ppm στο δείγμα R₉ έως 19 ppm στο δείγμα R₁₁ με μέση τιμή τα 14 ppm. Στα σημεία δειγματοληψίας R₁-R₅ και R₁₀, τα οποία βρίσκονται στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο συγκεντρώσεων, ενώ στα σημεία R₆, R₁₂ και R₁₄ συμπίπτουν. Τα σημεία αυτά βρίσκονται κοντά στις εκβολές των συλλεκτήρων Σ₃ (στον οποίο συμβάλλουν πολλά φυσικά ρέματα με σπουδαιότερο τον Άμυρο), Σ₄ (στον οποίο μέσω της τάφρου 2T καταλήγουν και τα νερά του Πηνειού) και του αντλιοστασίου DP₂. Στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας (R₇, R₈, R₉, R₁₁, R₁₃, R₁₅ και R₁₆) οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

Φαίνεται ότι η φυσική προέλευση του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των οφειολιθικών πετρωμάτων της περιοχής που σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), οι συγκεντρώσεις του στα υπερβασικά πετρώματα κυμαίνονται από 100-200 ppm και στα βασικά από 35-50 ppm. Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση, πιθανά το κοβάλτιο να προέρχεται από την χρήση του σε διάφορες δραστηριότητες όπως κεραμική και χρώματα (Siegel 2002) (Πιν. 3.17 Παράρτημα Γ). Επίσης μπορεί να προέρχεται από τη χρήση φωσφορικών και

αζωτούχων λιπασμάτων και από τα λύματα, που όπως αναφέρουν οι Kabata-Pendias & Pendias (2001) το κοβάλτιο βρίσκεται στα λύματα σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 2-260 ppm και στα λιπάσματα, από 1-12 ppm στα φωσφορικά και 5-12 ppm στα αζωτούχα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



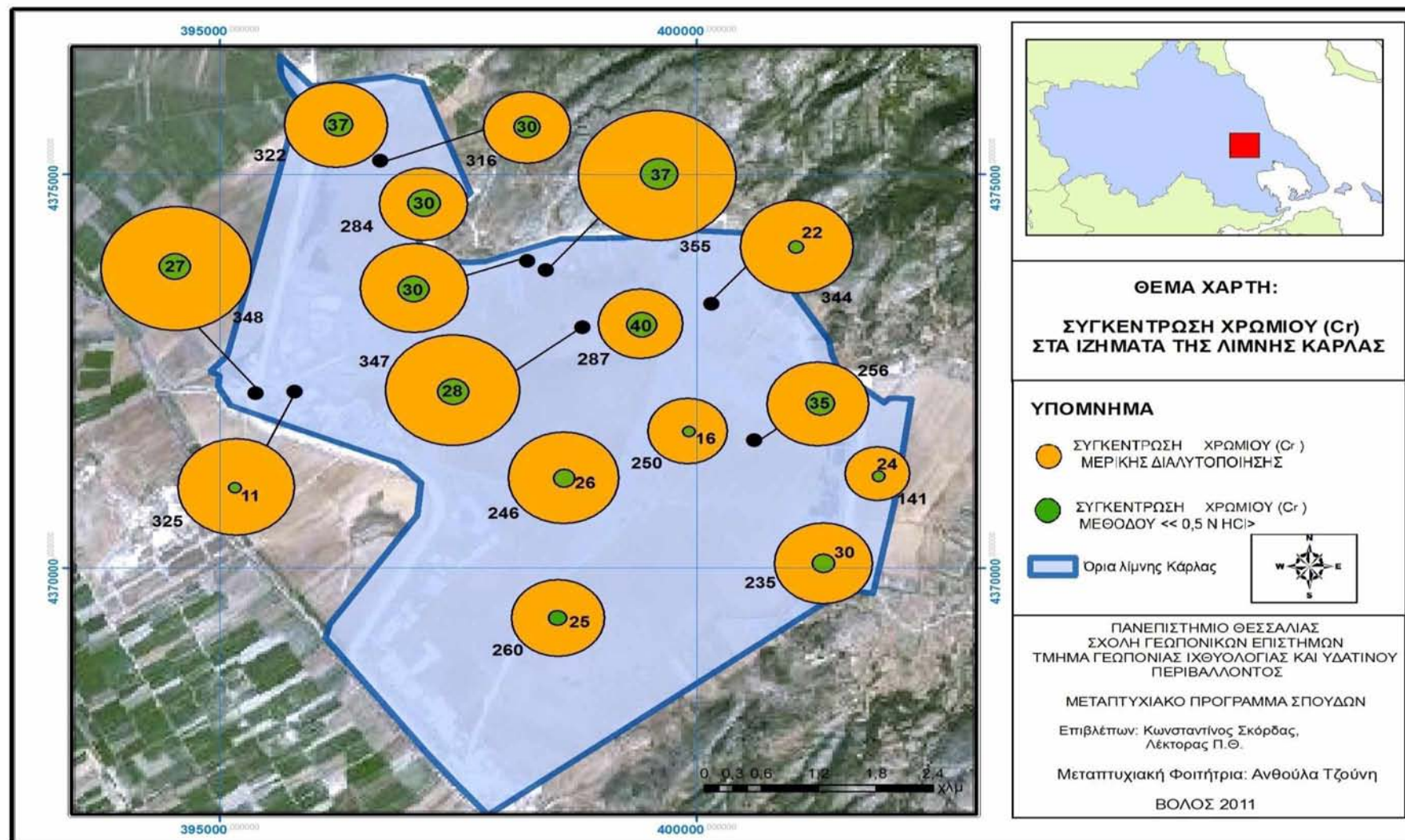
Σχήμα 3.14: Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων κοβαλτίου (Co) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Χρώμιο (Cr)

Η συγκέντρωση του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται μεταξύ των 141 ppm στο δείγμα R₁₂ έως 255 ppm στο δείγμα R₂ με μέση τιμή τα 285 ppm, ενώ η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 11 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 40 ppm στο δείγμα R₇ με μέση τιμή τα 28 ppm. Σε όλα τα δείγματα της περιοχής έρευνας παρατηρούμε αυξημένες συγκεντρώσεις χρωμίου.

Φαίνεται ότι η φυσική προέλευση του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των υπερβασικών (δουνίτες, περιδοδίτες, πυρόξενοι) και βασικών (βασάλτες, γάββροι) πετρωμάτων της περιοχής. Τα υπερβασικά και τα βασικά πετρώματα είναι πλούσια σε χρώμιο. Οι Kabata-Pendias & Pendias (2001) αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr) στα υπερβασικά πετρώματα κυμαίνονται μεταξύ των 1600-3400 ppm και μεταξύ των 170-200 ppm στα βασικά.

Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση φαίνεται ότι η συγκέντρωση του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας πιθανόν να οφείλεται στη χρήση του σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες όπως βυρσοδεψία, μεταλλουργία, παραγωγή χαρτοπολτού και λιπάσματα (Siegel 2002) (Πιν.3.17: Παράρτημα Γ). Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr) σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001) κυμαίνονται μεταξύ 66-245 ppm στα φωσφορικά λιπάσματα και 20-40600 ppm στα λύματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



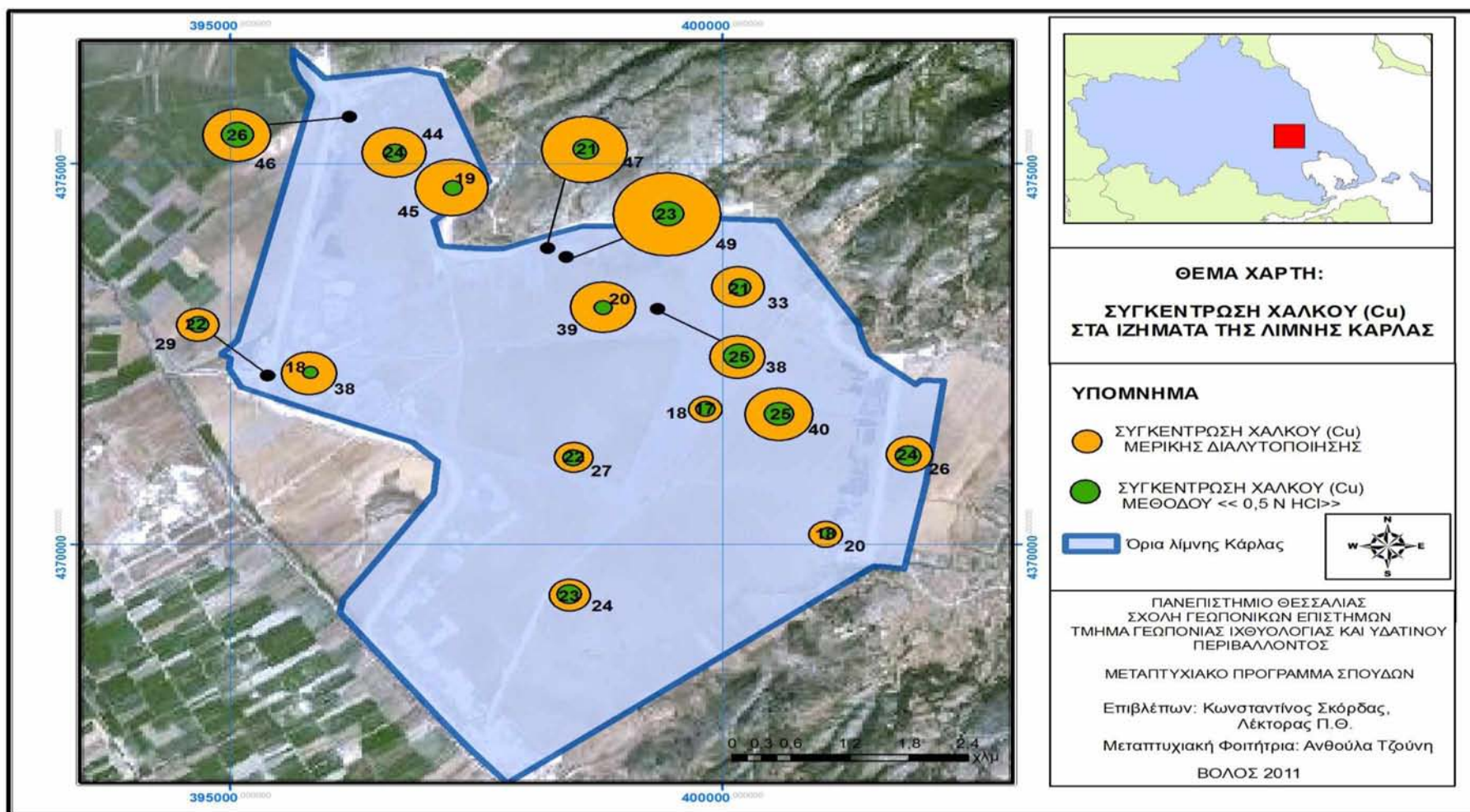
Σχήμα 3.15: Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων χρωμίου (Cr) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Χαλκός (Cu)

Η συγκέντρωση του χαλκού (Cu) στα δείγματα της λίμνης κυμαίνεται από 18 ppm στο δείγμα R₁₅ έως 49 ppm στο δείγμα R₂ με μέση τιμή τα 35 ppm, ενώ η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 17 ppm στο δείγμα R₁₅ έως τα 26 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 22 ppm. Στα σημεία δειγματοληψίας R₁-R₉ και R₁₁ στο βόρειο, δυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων του χαλκού (Cu), ενώ στα σημεία R₁₀ και R₁₂-R₁₆ στο δυτικό και νότιο-νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας παρατηρούνται μικρότερες διαφορές.

Η φυσική προέλευση του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής όπως τα βασικά και τα υπερβασικά πετρώματα, που οι συγκεντρώσεις τους σε χαλκό σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), κυμαίνονται από 60-120 ppm στα βασικά και 10-40 ppm στα υπερβασικά πετρώματα.

Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του χαλκού (Cu) μπορούμε να πούμε ότι οι συγκεντρώσεις του στα ιζήματα της λίμνης πιθανόν να προέρχονται από τη χρήση του σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες όπως βυρσοδεψία, μεταλλουργία, παραγωγή χαρτοπολτού και λιπασμάτων (Siegel 2002) (Πιν.3.17: Παράρτημα Γ) καθώς επίσης, τα λύματα και τα φωσφορικά λιπάσματα, που περιέχουν χαλκό σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 50-3300 ppm και 1-300 ppm αντίστοιχα (Kabata-Pendias & Pendias 2001) (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



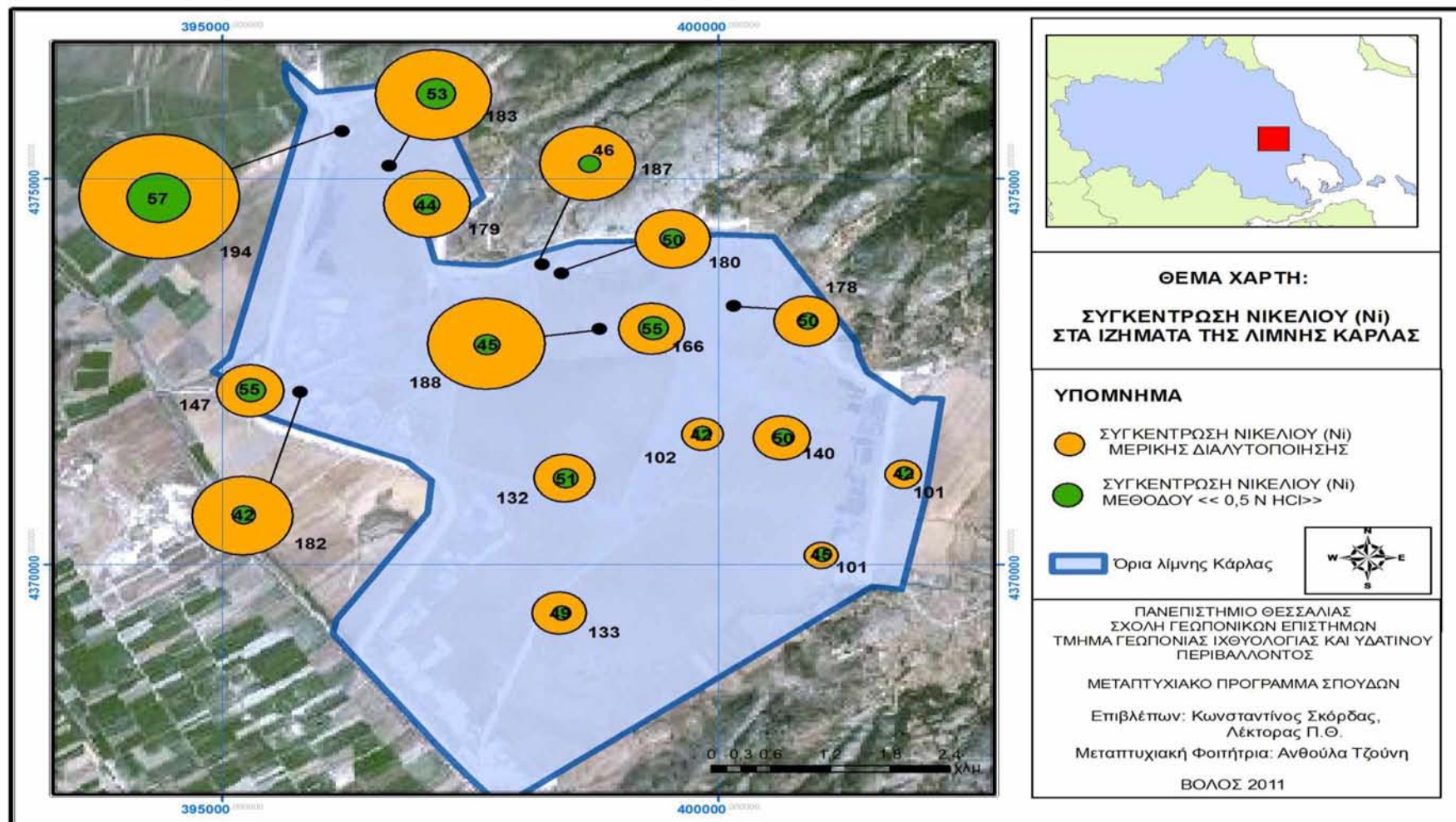
Σχήμα 3.16 : Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων χαλκού (Cu) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Νικέλιο (Ni)

Για το νικέλιο (Ni) η συγκέντρωση στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται από τα 101 ppm στα δείγματα R₁₂ και R₁₆ έως τα 94 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 158 ppm και η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 42 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 57 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 49 ppm. Οι συγκεντρώσεις του νικελίου κυμαίνονται σε υψηλά ποσοστά.

Η φυσική προέλευση του νικελίου (Ni) στα ιζήματα της λίμνης πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής που σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), οι συγκεντρώσεις του κυμαίνονται από 1400-2000 ppm στα υπερβασικά πετρώματα (δουνίτες, περιδοτίτες, πυρόξενοι) και από 130-160 ppm στα βασικά (βασάλτης και γάβρος).

Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του νικελίου (Ni) φαίνεται ότι οι παρατηρούμενες συγκεντρώσεις του στα ιζήματα της λίμνης πιθανόν να προέρχονται από τη χρήση του σε διάφορες δραστηριότητες όπως κεραμική, παραγωγή χαρτοπολτού, μεταλλουργία (Siegel 2002)(Πιν. 3.17 Παράρτημα Γ) αλλά και από λύματα που σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), περιέχουν νικέλιο σε συγκεντρώσεις από 16-5300 ppm (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



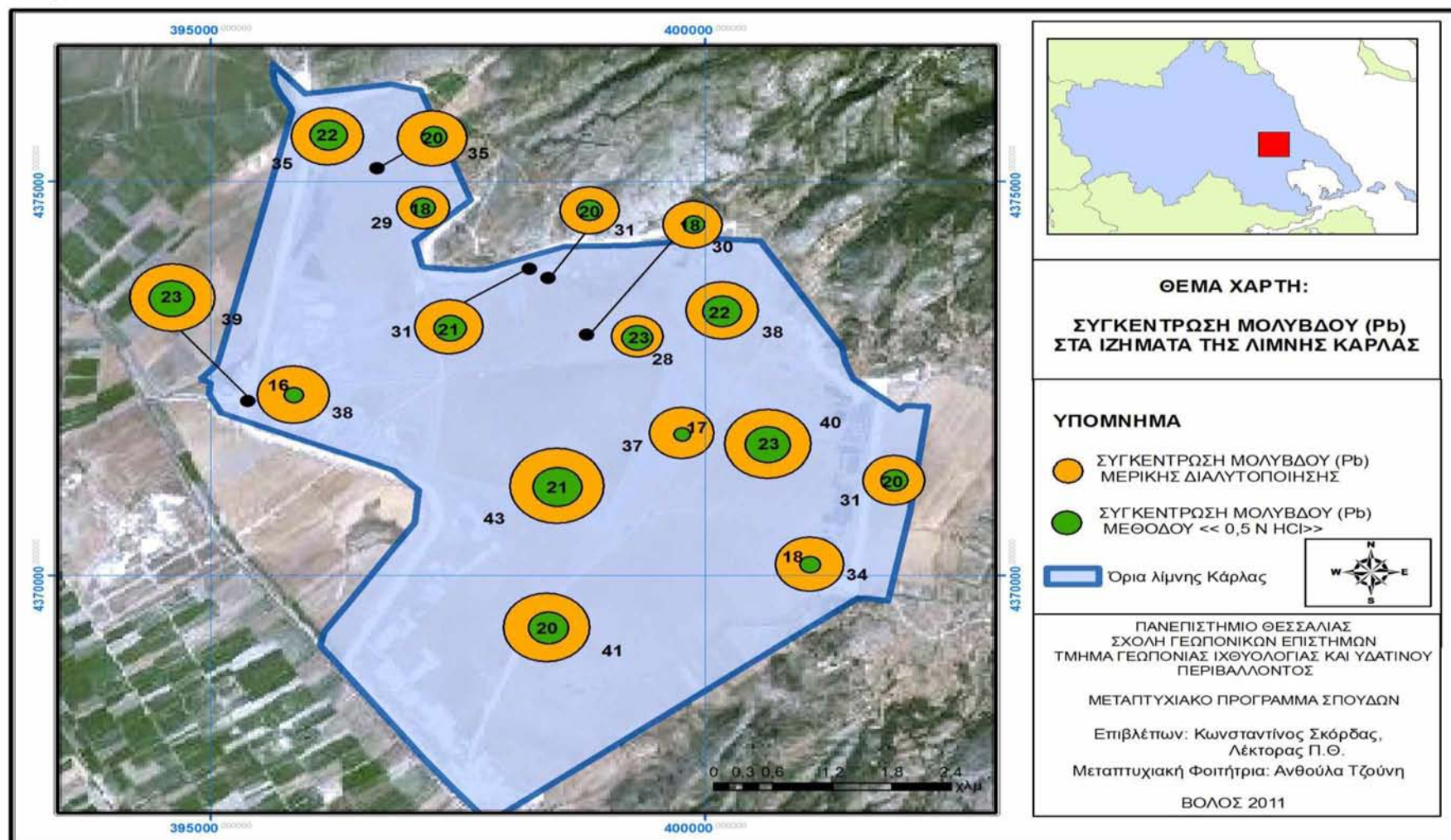
Σχήμα 3.17: Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων νικελίου (Ni) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Μόλυβδος (Pb)

Για το μόλυβδο (Pb) η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ των 28 ppm στο δείγμα R₇ και 43 ppm στο δείγμα R₁₃ με μέση τιμή τα 35 ppm, ενώ η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 16 ppm στο δείγμα R₉ έως τα 23 ppm στο δείγμα R₇ με μέση τιμή τα 20 ppm. Για τον μόλυβδο παρατηρούμε ότι τα σημεία R₁ έως R₈ και R₁₆ παρουσιάζουν τις μικρότερες διαφορές μεταξύ των δυο συγκεντρώσεων, ενώ τα σημεία R₉, R₁₃ έως R₁₅ τις μεγαλύτερες διαφορές.

Η φυσική προέλευση του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της λίμνης φαίνεται ότι πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής όπως οι γρανίτες, γνεύσιοι και ιζηματογενή πετρώματα που σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001) στα πετρώματα αυτά παρατηρούνται συγκεντρώσεις μολύβδου που κυμαίνονται από 15-24 ppm στους γρανίτες και τους γνεύσιους, 20-40 ppm στα αργιλικά ιζήματα και 18-25 ppm στους σχιστόλιθους.

Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του μολύβδου (Pb) αυτή πιθανόν να προέρχεται από τη χρήση του σε γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες όπως κεραμική, μεταλλουργία, λιπάσματα (Siegel 2002)(Πιν. 3.17: Παράρτημα Γ). Μια άλλη πηγή επίσης, μπορεί να είναι τα λύματα και τα λιπάσματα, όπου σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001) ο μόλυβδος (Pb) βρίσκεται σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 50-3000 ppm στα λύματα, 7-225 ppm στα φωσφορικά και 2-1450 ppm στα αζωτούχα λιπάσματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



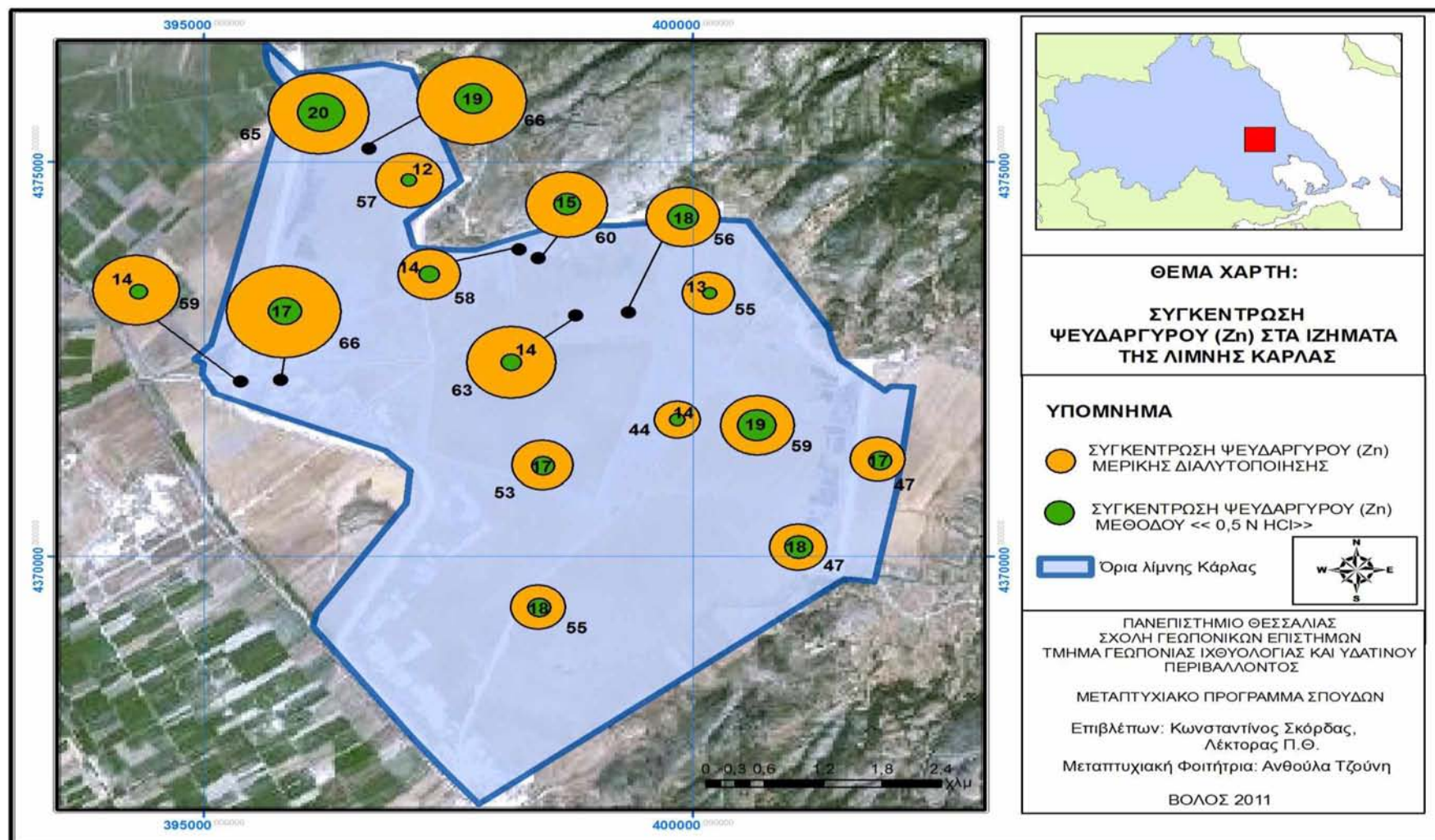
Σχήμα 3.18: Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων μολύβδου (Pb) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

Ψευδάργυρος (Zn)

Τέλος, για τον ψευδάργυρο (Zn) η συγκέντρωση στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται από τα 44 ppm στο δείγμα R₁₅ έως τα 66 ppm στο δείγμα R₅ με μέση τιμή τα 57 ppm και η προσδιοριζόμενη με τη μέθοδο «0,5 N HCl» συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ των 12 ppm στο δείγμα R₄ και 20 ppm στο δείγμα R₆ με μέση τιμή τα 16 ppm. Στον ψευδάργυρο οι διαφορές μεταξύ των δυο συγκεντρώσεων είναι μεγάλες σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας.

Η φυσική προέλευση του ψευδάργυρου πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής όπως τα βασικά και υπερβασικά. Τα πετρώματα αυτά σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), περιέχουν ψευδάργυρο σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 80-120 ppm στα βασικά και 40-60 ppm στα υπερβασικά. Επίσης στα ιζηματογενή πετρώματα οι συγκεντρώσεις του ψευδάργυρου κυμαίνονται μεταξύ 80-120 ppm (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του ψευδαργύρου (Zn) μπορούμε να υποθέσουμε ότι η συγκέντρωσή του στα ιζήματα της λίμνης πιθανόν να προέρχεται από τη χρήση του σε διάφορες δραστηριότητες και εφαρμογές όπως μεταλλουργία, κεραμική (Siegel 2002)(Πιν. 3.17: Παράρτημα Γ), καθώς επίσης και από τα φωσφορικά λιπάσματα και λύματα που όπως αναφέρουν οι Kabata-Pendias & Pendias (2001), περιέχουν ψευδάργυρο σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 50-1450 ppm στα φωσφορικά λιπάσματα. και από 700-4900 ppm στα λύματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



Σχήμα 3.19: Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων ψευδαργύρου (Zn) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

3.3. Σχολιασμός περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων της λίμνης Κάρλας.

3.3.1 Σχολιασμός συγκεντρώσεων με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας παρατηρούμε ότι τα στοιχεία με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε όλα τα δείγματα είναι το χρώμιο (Cr) και το νικέλιο (Ni). Οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται από 141-355 ppm με μέση τιμή 285 ppm για το χρώμιο (Cr) και από 101- 194 ppm με μέση τιμή 158 ppm αντίστοιχα για το νικέλιο (Ni). Ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο ψευδάργυρος (Zn), ο μόλυβδος (Pb) και ο χαλκός (Cu), ενώ το στοιχείο με τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις είναι το κοβάλτιο (Co). Η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία απαντώνται τα μέταλλα στα ιζήματα της Κάρλας είναι η ακόλουθη: $Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Co$.

Στον Πίνακα 3.19 παρουσιάζεται ο αριθμός και τα ποσοστά των δειγμάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τα όρια των κριτηρίων ποιότητας (Sediment Quality Guidelines _ SQGs) για τα ιχνοστοιχεία κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), χαλκό (Cu), νικέλιο (Ni), μόλυβδο (Pb), και ψευδάργυρο (Zn) σε σχέση με την τοξικολογική τους δράση κατά Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al. (1993). Ο Πίνακας 3.20 παρουσιάζει διαθέσιμες πληροφορίες από τη βιβλιογραφία αναφορικά με τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα διαφόρων λιμνών της Ελλάδος αλλά και άλλων χωρών. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται επίσης και οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων από τα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Πίνακας 3.19: Αριθμός δειγμάτων των επιφανειακών ιζημάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τις τιμές των ERM-ERL , PEL-LEL και SEL- TEL

ιχθυοστοιχεία	μέσος όρος και εύρος τιμών Κάρλας	ERM ¹	ERL ²	PEL ³	TEL ⁴	SEL ⁵	LEL ⁶	αριθμός δειγμάτων >ERM	% δείγματα >ERM	αριθμός δειγμάτων >ERL	% δείγματα >ERL	αριθμός δειγμάτων >PEL	% δείγματα >PEL	αριθμός δειγμάτων >TEL	% δείγματα >TEL	αριθμός δειγμάτων >SEL	% δείγματα >SEL	αριθμός δειγμάτων >LEL	% δείγματα >LEL
Cr	285 (141-355)	145	80	90	37,3	110	26	15	94	16	100	16	100	16	100	16	100	16	100
Cu	35 (18-49)	390	70	197	35,7	110	16	0	0	0	0	0	0	9	56	0	0	16	100
Ni	158 (101-194)	50	30	36	18	75	16	16	100	16	100	16	100	16	100	16	100	16	100
Co	19 (13-26)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	35 (28-43)	110	35	91,3	35	250	31	0	0	9	56	0	0	9	56	0	0	13	81
Zn	57 (44-66)	270	120	315	123	820	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 ERM (Effect Range Median - Μέσο επίπεδο επίδρασης) (Long and Morgan 1991)

2 ERL (Effect Range low – Χαμηλό επίπεδο επίδρασης) (Long and Morgan 1991)

3 PEL (Probable Effect Level – Πιθανό επίπεδο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

4 TEL (Threshold Effect Level - Κατώτατο όριο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

5 SEL (Severe Effect Level- Οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης) (Persaud et al. 1993)

6 LEL (Loewest Effect Level - Οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης) (Persaud et al. 1993)

Πίνακας 3.20: Συγκριτικός πίνακας συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων σε ιζήματα της λίμνης Κάρλας με άλλες περιοχές.

Στοιχεία Λίμνες-Ταμιευτήρες		Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	Κάρλα ¹	19 (13-26)	285 (141-355)	35 (18-49)	158 (101-194)	35 (28-43)	57 (44-66)
2	Βόλβη ²	-	23 (21-25)	15 (14-16)	-	12 (11-14)	54 (48-59)
3	Κορώνη ³	-	32 (27-37)	17 (15-19)	-	20 (16-25)	86 (72-100)
4	Βεγορίτιδα ⁴	25 (13-34)	266 (62-706)	37 (16-48)	215 (38-322)	26 (12-40)	88 (50-112)
5	Hazar Turkey ⁵	34 (24-48)	45 (17-79)	38 (10-64)	61 (38-130)	-	79 (46-210)
6	Ataturk Turkey ⁶	-	-	(15-23)	(44-140)	-	(59-61)
7	Texoma USA ⁷	38 (9-136)	38 (9-136)	38 (9-136)	38 (9-136)	38 (9-136)	38 (9-136)
8	Balaton Hungarian ⁸	(1,7-17)	(5,7-66)	(0,7-36)	(4,4-55)	(3-160)	(13-150)
9	Manchar Pakistan ⁹	5 (3-7)	20 (15-28)	21 (16-30)	20 (16-29)	19 (15-22)	96 (54-154)
10	Waco Texas (reservoir) ¹⁰		66 (20-98)	21 (10-60)	25 (7-36)	16 (4-26)	74 (18-124)
11	Respomuso Central Pyrenees ¹¹	15 (7-27)	32 (19-40)	14 (0,08-51)	23 (13-49)	37 (10-152)	82 (48-183)
12	Lochnagar UK ¹²	-	-	139	67	1886	974
13	LochChon UK ¹³	-	-	2468	1883	6955	8561
14	LochGrannoch UK ¹⁴	-	-	1798	661	11	411
15	Banburu (Reservoir) UK ¹⁵	-	-	11	5653	13	21
16	Jose Antonio Alzate (Reservoir), Mexico, ¹⁶	-	85 (150-145)	35 (15-43)	-	26 (12-76)	145 (92-233)

1: Παρούσα μελέτη, 2-3: Fytianos & Lourantou 2004, 4: Skoulikidis et al. 2008, 5: Ozmen et al. 2004, 6: Karadede & Unlu 2000, 7: Young-Joo An & Kampbell 2003, 8: Nguyen et al. 2005, 9: Arain et al. 2008, 10: Abrahan 1998, 11: Zaharescu et al. 2009, 12-15: Handong Yang & Neil Rose 2004, 16: Avila-Perez et al. 1999

Χρώμιο (Cr)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines–SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το χρώμιο (Cr) διαπιστώνουμε τα εξής:

- 15 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 94%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του κριτηρίου ERM (145 ppm) και του κριτηρίου ERL (80 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα και αναμένεται να εμφανιστούν συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του κριτηρίου PEL(90 ppm) και του κριτηρίου TEL(37,5 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα και αναμένεται να εμφανιστούν συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του κριτηρίου SEL (110 ppm) και του κριτηρίου LEL (26 ppm) Τα ιζήματα θεωρούνται πολύ ρυπασμένα και αναμένονται τοξικές επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Επομένως σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991) και Smith et al. (1996) τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα, ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al.1993) θεωρούνται πολύ ρυπασμένα ως προς το χρώμιο (Cr).

Από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων του χρωμίου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών της Ελλάδας (Πίν.3.20), διαπιστώνουμε ότι οι συγκεντρώσεις του βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών Βόλβης και Κορώνειας (Fytianos & Lourantou 2004), ενώ

βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008). Το γεγονός ότι στα ιζήματα της Κάρλας και της Βεγορίτιδας το χρώμιο βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα ερμηνεύεται από το ότι και στις δύο αυτές λίμνες εισρέουν ύδατα που αποσαθρώνουν γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ενότητα (μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα, μεταϊζήματα και μεταμορφωμένα ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα). Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες και σχιστόλιθους.

Σε σύγκριση με αντίστοιχα ιζήματα λιμνών εκτός του ελλαδικού χώρου (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της Κάρλας βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των άλλων λιμνών και ταμιευτήρων (Abraham J. 1998, Avila-Perez et al. 1999, Karadede et al. 2000, Ozmen et al. 2003, Young-Joo An & Kambell 2003, Handong Yang & Neil Rose 2004, Nguyen et al. 2004-2005, Arain et al. 2008, Zaharescu et al. 2009).

Χαλκός (Cu)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993)(Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το χαλκό (Cu) διαπιστώνουμε τα εξής:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (390 ppm) και του κριτηρίου ERL (70 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα και σπάνια θα αναμένουμε δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 9 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 56%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου PEL (197 ppm) αλλά υψηλότερες

του κριτηρίου TEL (35,7 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου SEL (110ppm) και υψηλότερες του κριτηρίου LEL (16ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα και αναμένονται περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Επομένως, τα ιζήματα της περιοχής έρευνας θεωρούνται σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991) μη ρυπασμένα, ενώ σύμφωνα με τους Smith et al.(1996) και Persaud et al. (1993) θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα ως προς το χαλκό (Cu).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του χαλκού στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με τα αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών του ελληνικού χώρου (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στις λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004), ωστόσο βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008).

Σε σχέση με αντίστοιχα ιζήματα λιμνών άλλων χωρών, παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της Κάρλας βρίσκονται στα ίδια ή υψηλότερα επίπεδα με αυτά των λιμνών Hazar (Ozmen et al. 2003) και Ataturk (Karadede & Unlu 2000), Texoma (Young-Joo An & Kambell 2003), Balaton (Nguyen et al. 2004-2005), Manchar (Arain et al. 2008), Respomuso (Zaharescu et al. 2009) και των ταμιευτήρων Waco (Abraham J. 1998), Jose Antonio Alzate (Avila-Perez et al. 1999) και Banburu (Handong Yang & Neil Rose 2004). Βρίσκονται όμως σε

χαμηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

Νικέλιο (Ni)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το νικέλιο (Ni) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα κριτήρια ERM (50ppm) και ERL (30ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα και επομένως αναμένονται συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα κριτήρια PEL (36 ppm) και TEL (18 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα και επομένως αναμένονται συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα κριτήρια SEL (75 ppm) και LEL (16 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται πολύ ρυπασμένα και οι δυσμενείς επιδράσεις αναμένεται να εμφανιστούν στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι τα ιζήματα της περιοχής έρευνας θεωρούνται ρυπασμένα ως προς το νικέλιο (Ni) σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991) και Smith et al. (1996), ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al. (1993) θεωρούνται πολύ ρυπασμένα.

Οι συγκεντρώσεις του νικελίου (Ni) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενες με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών της Ελλάδας (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008). Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται από το ότι και στις δυο λίμνες εισρέουν ύδατα που αποσθρώνουν γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ενότητα (μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα, μεταϊζήματα και μεταμορφωμένα, ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα). Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες και σχιστόλιθους.

Σε σχέση με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι το νικέλιο βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων με εξαίρεση τις λίμνες LonhChon και LonhGrannoch και τον ταμιευτήρα Banburu (Handong Yang & Neil Rose 2004).

Κοβάλτιο (Co)

Τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) δεν περιλαμβάνουν το κοβάλτιο (Co) ως περιβαλλοντικά διαβαθμισμένο μέταλλο.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008). Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με το ότι και στις δύο λίμνες εισρέουν ύδατα που αποσθρώνουν γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ενότητα

(μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα, μεταϊζημάτα και μεταμορφωμένα, ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα). Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες και σχιστόλιθους.

Σε σχέση με ιζήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι το κοβάλτιο (Co) παρουσιάζει παρόμοια επίπεδα συγκεντρώσεων με αυτά των λιμνών Hazar (Ozmen et al. 2003) και Texoma (Young-Joo An & Kambell 2003), αλλά υψηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες Balaton (Nguyen et al. 2004-2005) και Manchar (Arain et al. 2008).

Μόλυβδος (Pb)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το μόλυβδο (Pb) διαπιστώνουμε ότι:

- 9 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 56%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (110 ppm), αλλά υψηλότερες του κριτηρίου ERL (35 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα και αναμένονται περιστασιακά τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 9 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 56%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου PEL (91,3 ppm), αλλά υψηλότερες του κριτηρίου TEL (35 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα και αναμένονται περιστασιακά τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 13 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 81 %) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου SEL (250 ppm) και υψηλότερες του

κριτηρίου LEL (31 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα και αναμένονται τοξικές επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Τα ιζήματα επομένως σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al. (1993) θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα ως προς το μόλυβδο (Pb).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων ελληνικών λιμνών (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι ο μόλυβδος (Pb) βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων από ότι στις λίμνες Βόλβη, Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004) και Βεγορίτιδα (Skoulikidis et al. 2008), ενώ σε σχέση με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων λιμνών άλλων χωρών, παρατηρούμε ότι ο μόλυβδος (Pb) εμφανίζεται με υψηλότερες ή παρόμοιες συγκεντρώσεις, εκτός από τις λίμνες Lochnagar και LochChon (Handong Yang & Neil Rose 2004).

Ψευδάργυρος (Zn)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τον ψευδάργυρο (Zn) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (270 ppm), του κριτηρίου ERL (120 ppm), του κριτηρίου PEL (315 ppm), του κριτηρίου TEL (123 ppm), του κριτηρίου SEL (820 ppm) και του κριτηρίου LEL (120 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα και δεν αναμένονται τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn).

Από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχα ευρήματα άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου (Πίν. 3.20), διαπιστώνουμε ότι οι συγκεντρώσεις του βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών Κορώνεια (Fytianos & Laurantou 2004) και Βεγορίτιδα (Skoulikidis et al. 2008), αλλά σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά της λίμνης Βόλβης (Fytianos & Laurantou 2004).

Σε σχέση με τα ιζήματα λιμνών άλλων χωρών (Πίν.3.20), παρατηρούμε ότι ο ψευδάργυρος (Zn) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας εμφανίζεται με χαμηλότερα ή παρόμοια επίπεδα συγκεντρώσεων εκτός από τα ιζήματα της λίμνης Texoma (Karadede & Unlu 2000) και του ταμιευτήρα Banburu (Handong Yang & Neil Rose 2004).

3.3.2 Σχολιασμός συγκεντρώσεων μεθόδου «0,5 N HCl»

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη μέθοδο «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας προκύπτει ότι το νικέλιο (Ni) είναι το στοιχείο με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, που κυμαίνονται από 42-57 ppm με μέση τιμή τα 49 ppm. Ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn) και το κοβάλτιο (Co). Τα περισσότερα στοιχεία δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις τιμών μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Αποκλίσεις παρατηρούμε σχετικά με τις συγκεντρώσεις του χρωμίου μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία απαντώνται τα μέταλλα στα ιζήματα της Κάρλας είναι η ακόλουθη: Ni > Cr > Cu > Pb > Zn > Co.

Στον Πίνακα 3.21 παρουσιάζεται ο αριθμός και τα ποσοστά των δειγμάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τα όρια των κριτηρίων ποιότητας (Sediment Quality Guidelines _ SQGs) για τα ιχνοστοιχεία Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn σε σχέση με την τοξικολογική τους δράση κατά Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al. (1993) και στον Πίνακα 3.22 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που έχουν ανθρωπογενή προέλευση στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας καθώς και διαφόρων λιμνών άλλων περιοχών.

Πίνακας 3.21: Αριθμός δειγμάτων των επιφανειακών ιζημάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τις τιμές των ERM -ERL, PEL-LEL και SEL- TEL

ιχθυοείδη	μέσος όρος και έγρος τιμών Κάρλας	ERM ¹	ERL ²	PEL ³	TEL ⁴	SEL ⁵	LEL ⁶	αριθμός δειγμάτων >ERM	% δείγματα >ERM	αριθμός δειγμάτων >ERL	% δείγματα >ERL	αριθμός δειγμάτων >PEL	% δείγματα >PEL	αριθμός δειγμάτων >TEL	% δείγματα >TEL	αριθμός δειγμάτων >SEL	% δείγματα >SEL	αριθμός δειγμάτων LEL	% δείγματα >LEL
Cr	28 (11-40)	145	80	90	37,3	110	26	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	11	69
Cu	22 (17-26)	390	70	197	35,7	110	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	100
Ni	49 (42-57)	50	30	36	18	75	16	8	50	16	100	16	100	16	100	0	0	16	100
Co	14 (11-19)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	20 (16-23)	110	35	91,3	35	250	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	16 (12-20)	270	120	315	123	820	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 ERM (Effect Range Median - Μέσο επίπεδο επίδρασης) (Long and Morgan 1991)

2 ERL (Effect Range low - Χαμηλό επίπεδο επίδρασης) (Long and Morgan 1991)

3 PEL (Probable Effect Level - Πιθανό επίπεδο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

4 TEL (Threshold Effect Level - Κατώτατο όριο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

5 SEL (Severe Effect Level- Οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης) (Persaud et al. 1993)

6 LEL (Loewest Effect Level - Οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης) (Persaud et al. 1993)

Πίνακας 3.22: Συγκριτικός πίνακας συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων ανθρωπογενούς προέλευσης σε ιζήματα της λίμνης Κάρλας με άλλες περιοχές.

Στοιχεία Λίμνες- Ταμιευτήρες		Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	Κάρλα ¹	28 (11-40)	14 (11-19)	22 (17-26)	49 (42-57)	20 (16-23)	16 (12-20)
2	Βόλβη ²		13 (13-14)	47 (45-49)		46 (41-51)	38 (35-41)
3	Κορόνια ³		21 (18-23)	41 (37-45)		55 (50-60)	43 (38-48)
4	Baringo Kenya ⁴	1	3	18	35	20	188
5	Bogoria Kenya ⁵	0,5	2	3	21	30	183
6	Nakuru Kenya ⁶	<1	2	3	16	14	153
7	Elementaita Kenya ⁷	<1	4	9	29	17	129
8	Naivasha Kenya ⁸	0,5	2	10	12	25	229
9	Lochnagar UK ⁹			54	30	1348	399
10	Loch Chon UK ¹⁰			542	324	4191	3512
11	Loch Grannoch UK ¹¹			1095	120	4968	6423
12	Burnmoor Tarn UK ¹²			175	139	762	1746
13	Llyn Llgi UK ¹³			463	412	2982	3325

1:Παρούσα μελέτη, 2-3: Fytianos & Laurantou 2004, 4-8: Ochieng et al.2007, 9-13: Handong Yang & Neil Rose 2004

Χρώμιο (Cr)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL-SEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τις τιμές του χρωμίου (Cr) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες των κριτηρίων ERM (145 ppm) και ERL(80 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη ρυπασμένα.
- 15 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 94%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες των κριτηρίων PEL (90 ppm) και TEL(37,3 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη ρυπασμένα.
- 11 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 69%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου SEL (110 ppm) αλλά υψηλότερες από το κριτήριο LEL (26ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μέτρια ρυπασμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) θεωρούνται μη ρυπασμένα, ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al.(1993) θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα ως προς χρώμιο (Cr).

Από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων του χρωμίου στα ιζήματα της Κάρλας με τα δεδομένα του Πίνακα 3.22, διαπιστώνουμε ότι η συγκέντρωση του χρωμίου (Cr) βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τη λίμνη Κορώνεια, αλλά σε παρόμοια επίπεδα με αυτά της λίμνης Βόλβης (Fytianos & Lourantou 2004). Σε σχέση με ιζήματα λιμνών άλλων χωρών, παρατηρούμε ότι τα ιζήματα της Κάρλας εμφανίζουν συγκεντρώσεις χρωμίου (Cr) σε υψηλότερα επίπεδα από τις λίμνες της Κένυας (Ochieng et al. 2007).

Χαλκός (Cu)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL-SEL(Persaud et al 1993) (Πιν.3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το χαλκό (Cu) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (390 ppm) και του κριτηρίου ERL (70 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου PEL (197 ppm) και του κριτηρίου TEL (35,7 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου SEL (110 ppm) αλλά υψηλότερες από το κριτήριο LEL (16 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991) και Smith et al. (1996) θεωρούνται μη ρυπασμένα ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al. (1993) θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα ως προς το χαλκό (Cu).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του χαλκού στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου (Πιν. 3.22), διαπιστώνουμε ότι ο χαλκός (Cu) εμφανίζει συγκεντρώσεις σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Laurantou 2004).

Σε σχέση με αντίστοιχα ευρήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν. 3.22) παρατηρούμε ότι τα ιζήματα της Κάρλας εμφανίζουν συγκεντρώσεις χαλκού (Cu) σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών της Κέννας (Ochieng et al., 2007), αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

Νικέλιο (Ni)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM- ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-

LEL (Persaud et al 1993) (Πιν. 3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το νικέλιο (Ni) διαπιστώνουμε ότι:

- 8 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 50 %) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες των κριτηρίων ERM (50 ppm) και ERL (30 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα κριτήρια PEL (36ppm) και TEL (18 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου SEL (75 ppm) αλλά υψηλότερες του κριτηρίου τοξικότητας LEL (16 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) θεωρούνται ρυπασμένα ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al. (1993) θεωρούνται μέτρια ρυπασμένα ως προς το νικέλιο (Ni).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του νικελίου στα ιζήματα της Κάρλας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών εκτός του ελλαδικού χώρου (Πιν. 3.22), παρατηρούμε ότι το νικέλιο (Ni) εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων σε σχέση με τις λίμνες της Κένυας (Ochieng et al. 2007), αλλά χαμηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

Κοβάλτιο (Co)

Τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL- SEL (Persaud et al 1993) δεν περιλαμβάνουν το κοβάλτιο ως περιβαλλοντικά διαβαθμισμένο μέταλλο.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στα ιζήματα της Κάρλας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων άλλων λιμνών, διαπιστώνουμε ότι το κοβάλτιο παρουσιάζει συγκεντρώσεις σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών της Κένυας (Πιν. 3.22).

Μόλυβδος (Pb)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν. 3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τις τιμές του μολύβδου διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (110 ppm) και του κριτηρίου ERL (35 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου PEL (91.3 ppm) και του κριτηρίου TEL (35 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου LEL (31 ppm) και του κριτηρίου SEL (250 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη ρυπασμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μη ρυπασμένα ως προς το μόλυβδο (Pb).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της Κάρλας με ιζήματα άλλων ελληνικών λιμνών (Πιν. 3.22), διαπιστώνουμε ότι ο μόλυβδος παρουσιάζει συγκεντρώσεις σε χαμηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες Βόλβη και

Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004) και σε σύγκριση με ιζήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν. 3.22), παρατηρούμε ότι ο μόλυβδος (Pb) εμφανίζεται με παρόμοια επίπεδα συγκεντρώσεων με τις λίμνες της Κένυας (Ochieng et al. 2007), αλλά με χαμηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης από ότι οι λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

Ψευδάργυρος (Zn)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL-SEL (Persaud et al 1993) (Πιν. 3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τον ψευδάργυρο (Zn) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (270 ppm) και του κριτηρίου ERL (120 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη ρυπασμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου PEL (315 ppm) και του κριτηρίου TEL(123 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη ρυπασμένα
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου τοξικότητας LEL (120 ppm) καθώς και του κριτηρίου SEL (820 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη ρυπασμένα.

Επομένως, τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας με αντίστοιχες συγκεντρώσεις ιζημάτων διαφόρων άλλων λιμνών

(Πιν. 3.22), παρατηρούμε ότι ο ψευδάργυρος (Zn) παρουσιάζει χαμηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης από ότι οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004) και σε σχέση με τις λίμνες άλλων χωρών βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης από τις λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004) και της Κένυας (Ochieng et al. 2007).

3.4 Συσχέτιση δεδομένων των μεθόδων «0,5N HCl» και μερικής διαλυτοποίησης.

Τα δεδομένα της μεθόδου « 0,5 N HCl » για τα χημικά στοιχεία Co, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα δεδομένα της μερικής διαλυτοποίησης. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ποσοστού επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που κατανέμονται στα ιζήματα της περιοχής έρευνας σε θέσεις περιβαλλοντικά «ενεργές», δηλαδή σε θέσεις ιοντοανταλλαγής (προσροφημένα) και συνδεδεμένα με διάφορες φάσεις. Στον Πίνακα 3.23 παρουσιάζονται τα ποσοστά επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που αποδεσμεύονται με τη μέθοδο « 0,5 N HCl » στα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 3.23: Ποσοστό επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που αποδεσμεύεται στα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Ιχνοστοιχεία Δείγματα		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	R1	70	8	51	24	60	22
2	R2	65	10	47	28	65	25
3	R3	61	10	45	25	68	24
4	R4	50	11	42	25	62	21
5	R5	60	9	55	29	57	29
6	R6	100	11	57	29	63	31
7	R7	94	18	66	33	82	32
8	R8	83	6	64	28	58	24
9	R9	65	3	47	23	42	26
10	R10	71	8	76	32	59	24
11	R11	95	14	63	36	58	32
12	R12	100	17	92	42	65	36
13	R13	84	11	81	39	49	32
14	R14	100	10	96	37	49	33
15	R15	67	6	94	41	46	32
16	R16	81	13	90	45	53	38
Μέσος όρος		78	10	67	32	58	29

Ο Πίνακας 3.24 παρουσιάζονται συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για το ποσοστό επί τοις εκατό % των μετάλλων που κατανέμεται σε θέσεις περιβαλλοντικά «ενεργές» στα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 3.24 Στατιστικά στοιχεία του ποσοστού επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που βρίσκονται σε θέσεις ιοντοαλλαγής από τα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Ιχνοστοιχεία	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Co	78	50	100
Cu	67	42	96
Pb	58	42	82
Ni	32	23	45
Zn	29	21	38
Cr	10	3	18

Από τον Πίνακα 3.23 διαπιστώνουμε τα ακόλουθα:

- Για το κοβάλτιο (Co) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας είναι μεγάλα και κυμαίνονται από 50% έως 100% με μέση τιμή 78%.
- Για το χρώμιο (Cr) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 3% και 18% με μέση τιμή τα 10%.
- Για τον χαλκό (Cu) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται από 42% έως 96% με μέση τιμή 67%.
- Για το νικέλιο (Ni) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 23% και 45% με μέση τιμή τα 32%.
- Για τον μόλυβδο (Pb) όλα σχεδόν τα δείγματα εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαινόμενα μεταξύ 42% και 82% με μέση τιμή τα 58%.
- Για τον ψευδάργυρο (Zn) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 21% και 38% με μέση τιμή τα 29%.

Η σειρά βιοδιαθεσιμότητας των αναλυθέντων στοιχείων στην περιοχή έρευνας είναι η εξής: $\text{Co} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cr}$.

Τα χημικά στοιχεία κοβάλτιο (Co), χαλκός (Cu) και μόλυβδος (Pb) βρίσκονται σε χαμηλές σχετικά συγκεντρώσεις στα ιζήματα της περιοχής έρευνας. Παρουσιάζουν όμως τα υψηλότερα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας (κοβάλτιο 78%, χαλκός 67% και μόλυβδος 58%) σε σχέση με τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία της έρευνας. Αυτό δηλώνει ότι η ποσότητα των ιχνοστοιχείων αυτών είναι δεσμευμένη στα ιζήματα με τρόπο που επιτρέπει την απελευθέρωσή τους στο υδάτινο περιβάλλον ή τους οργανισμούς, αν δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες. Αντίθετα, τα ιχνοστοιχεία χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni) που εμφανίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις στα ιζήματα παρουσιάζουν μικρά ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας.

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία και αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας είναι τα ακόλουθα.

1. Σύμφωνα με τη μέση τιμή των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία αυτά απαντώνται στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας είναι η ακόλουθη: $\text{Cr} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Co}$.
2. Σύμφωνα με τη μέση τιμή των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων ανθρωπογενούς προέλευσης, η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία απαντώνται αυτά στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας είναι: $\text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Co}$.
3. Αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων παρατηρούνται για τα ιχνοστοιχεία χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni).
4. Οι γεωχημικοί χάρτες των αναλυθέντων χημικών στοιχείων παρουσιάζουν την χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του κοβαλτίου (Co), του χρωμίου (Cr), του χαλκού (Cu), του νικελίου (Ni), του μολύβδου (Pb) και του ψευδαργύρου (Zn) στην περιοχή έρευνας.
5. Οι προσδιοριζόμενες συγκεντρώσεις με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης των ιχνοστοιχείων Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn ταξινομούν τα ιζήματα της περιοχής έρευνας στις παρακάτω κατηγορίες:

μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και δεν αναμένεται η εμφάνιση δυσμενών επιδράσεων στους βενθικούς οργανισμούς.

μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και αναμένεται να εμφανιστούν, σπάνια ή περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

μέτρια ρυπασμένα ως προς το μόλυβδο (Pb) και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

ρυπασμένα έως πολύ ρυπασμένα ως προς το χρώμιο (Cr) και το νικέλιο (Ni) και οι δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών αναμένεται να εμφανιστούν συχνά.

Οι προσδιοριζόμενες με τη μέθοδο «0,5N HCl» συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn ταξινομούν τα ιζήματα της περιοχής έρευνας στις παρακάτω κατηγορίες:

μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και το μόλυβδο (Pb) και δεν αναμένονται δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και το χρώμιο (Cr) και οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν σπάνια ή περιστασιακά.

ρυπασμένα ως πολύ ρυπασμένα για το νικέλιο (Ni) και οι δυσμενείς επιδράσεις αναμένεται να εμφανιστούν συχνά και στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

6. Το ποσοστό των ιχνοστοιχείων που κατανέμονται σε θέσεις περιβαλλοντικά «ενεργές» στα ιζήματα της περιοχής έρευνας προσδιορίστηκε για το Co σε 78%, για το Cu σε 67%, για το Pb σε 58%, για το Ni σε 32%, για τον Zn σε 29% και για το Cr σε 10% .

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Προτείνεται μια πιο λεπτομερής έρευνα της λίμνης και σε συνεργασία με άλλους επιστημονικούς κλάδους.
2. Διαρκής παρακολούθηση και καταγραφή των παραμέτρων και στοιχείων που υποβαθμίζουν και προκαλούν ρύπανση στη λίμνη Κάρλα σε συνεργασία με την Τοπική Αυτοδιοίκηση.
3. Έλεγχος για τις επιδράσεις στους οργανισμούς.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία

- Abraham J. (1998) Spatial distribution of major and trace elements in shallow reservoir sediments: an example from Lake Waco Texas. *Environmental Geology*, 36 :3–4
- Adriano D.C. (1986) Trace elements in the terrestrial environment, Springer-Verlag, New York, pp 533.
- Agemian H., Chau Y.S.A.(1976) Evaluation of Extraction Techniques for the Determination of Metals in Aquatic Systems. *The Analyst*, 101:761-767
- Ananiadis C.I.(1956) Limnological study of lake Karla. *Bulletin de l' Institut Oceanographique* 1083: 1-19
- Angelidis M., Grimanis A.P. (1987) Arsenic geochemistry in sediments near the Athens Sewage Outfall, *Marine Pollution Bulletin*, 18:297-298
- Araín M.B., Kazi T.G., Jamali M.K., Jalbani N., Afridi H.I., Shah A. (2008) Total dissolved and bioavailable elements in water and sediment samples and their accumulation in *Oreochromis mossambicus* of polluted Manchar Lake *Chemosphere*, 70:1845-1856
- Aubouin J. (1959) Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale les confins de l' Epire et de la Thessalie. *Ann. geol. Pays Hellen.*, 10 : 1-525
- Avila-Pérez P., Balcázar M., Zarazúa-Ortega G. Barceló-Quintal I., Díaz-Delgado C. (1999) Heavy metal concentrations in water and bottom sediments of a Mexican reservoir *The Science of The Total Environment*, 234:185-196
- Bettinelli M., Beone G.M., Spezia S., Baffi C.(2000) Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis *Analytica Chimica Acta*, 424:289-296
- Brunn J.(1956) Contribution a l' etude geologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macedoine occidentale. *Ann. Geolog. Pays Hellen.* 7: 1-358
- Bryan G.W.(1976) Heavy metal concentration in the sea. in: *Marine Pollution*, Johnston R (ed.), Academic Press, London and N.Y.p185-302
- Burgess M.R., Scott K.J. (1992) The significance of in-place contaminated marine sediments on the water column: processes and effects .In *Burton G.A. (Ed), Sediment Toxicity Assessement*, Lewis Publishers London p 221-240
- Burton G.A. Jr (2002) Sediment quality criteria in use around the world *Limnology* 3:65–75
- Cambell P.G.C., Lewis A.G., Chapman P.M., Crowder A.A., Flether W.K., Imber B., Luoma S.N., Stokes P. M., Winfrey M.(1988) *Biologically Available Metals in Sediments* National Research Council of Canada, Publ., NRCC 27694, Ottawa
- Chester R., Voutsinou G.F. (1981) The Initial Assessment of Trace Metal Pollution in Coastal Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 12:84-91
- Cotton F.A., Wilkinson G. (1983) *Advanced Inorganic Chemistry*, 4th ed. J Wiley & Sons, New York.
- Cui Y.J., Zhu Y.G., Zhai R.H., Chen D.Y., Huang Y.Z., Qiu Y., Liang J.Z. (2004) Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China, *Environment International*, 30: 785-791

- Cui Y.J., Zhai R.H., Huang Y.Z., Qiu Y., Liang J.Z. (2005) Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning China. *Environment International*, 31: 784-790.
- Filippidis A., Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki A., Misaelides P., Yiakkoupis P., Broussoulis J. (1996) Trace element contents in composite samples of three lignite seams from the central part of the Drama lignite deposit, Macedonia, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 29: 219-234
- Forstner U., Wittmann G.T.W. (1983) *Metal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin
- Förstner U., Salomons W. (1984) Trace elements speciation in surface waters: interactions with particulate matter. Leppard G. (ed). *National Water Research institute*, Burlington, Canada, p. 245
- Forstner U., Heise, S. (2006) Assessing and managing contaminated sediments: requirements in data quality from molecular to river basin scale. *Croatica Chemica Acta*, 79:5-14
- Fytianos K., Lourantou A. (2004) Speciation of elements in sediment samples collected at lakes Volvi and Koronia, N.Greece. *Environment International*, 30:11-17.
- Georgakopoulos A., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Iordanidis A., Fernández-Turiel J.L., Llorens J.F. and Gimeno D. (2002a) Environmentally important elements in fly ashes and their leachates of the power stations of Greece. *Energy Sources*, 24: 83-91
- Georgakopoulos A., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Fernández-Turiel J.L., Llorens J.F. and Mousty F. (2002b) Leachability of major and trace elements of fly ash from Ptolemais power station, Northern Greece. *Energy Sources*, 24: 103-113.
- Handong Yang, Neil Rose (2004) Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *Environment International* 31: 63-75
- Hestberg D. (1998) Biochemical cycles and processes leading to changes in mobility of chemicals in soils. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 67: 121-133
- Hou A, DeLaune R.D., Tan M., Reams M. Laws E (2009) Toxic Elements in Aquatic Sediments: Distinguishing Natural Variability from Anthropogenic Effects. *Water, Air, and Soil Pollution*, 203:179-191
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd. CRC Press LLC, Poland, pp 411.
- Karadede H., Unlu E. (2000) Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41 :1371-1376.
- Kolovos N., Georgakopoulos A., Filippidis A., Kavouridis C. (2002) Environmental effects of lignite and intermediate steriles coexcavation in the Southern lignite field mine of Ptolemais, Northern Greece. *Energy Sources*, 24: 561-573
- Koutseris E. (1987) Soil study of 350 ha of Karla. Greek Centre for Productivity, Volos Office, pp 22.
- Koutseris E. (1989) Land reclamation, crop production, rural sociological problems and environmental quality in the Karla area. Prefecture of Magnesia, Volos, Greece, pp15.
- Levinson A.A. (1974) *Introduction to exploration geochemistry*. Applied Publishing, Co, Calgary pp 612.

- Long E.R., Morgan L.G. (1991) The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, pp 175, 1 appendix
- Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 81–97
- Loring D.H. (1976a) The distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay Fjord, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13:960-971
- Loring D.H. (1976b) Distribution and partitioning of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Saguenay Fjord, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13:1706-1718
- Luoma S.N., Bryan G.W. (1981) A statistical assessment of the trace metals in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants. *Total Environment*, 17:165-196
- MacDonald D.D., Carr R.S., Calder F.D., Long E.R., Ingersoll C.G. (1996) Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5:253–278
- MacDonald D.D., Dipinto L.M., Field J., Ingersoll C.G., Long E.R., Swartz R.C. (2000) Development and evaluation of consensus-based sediment effect concentrations for polychlorinated biphenyls (PCBs). *Environmental Toxicology & Chemistry*, 19:1403-1413
- MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. (2000) Development and Evaluation of Consensus Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 20–31
- Mason C.F. (1991) *Biology of freshwater pollution*, 2nd ed., J Wiley & Sons, New York
- New York State Department of Environmental Conservation (January 1999). *Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments*, pp. 39
- Nguyen H.L., Leermakers M., Elskens M., De Ridder F., Doan T.H., Baeyens W. (2005) Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals between different compartments of Lake Balaton. *Science of The Total Environment*, 341: 211–226
- Nguyen H.L., Leermakers M., Osán J., Torok S., Baeyens W. (2005) Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota. *Science of The Total Environment*, 340: 213–230
- Nieboer E., Richardson D.H.S. (1980) The replacement of the nondescript term “heavy metals” by a biologically and chemically significant classification of metal ions. *Environmental Pollution Ser B*, 1: 3-10.
- Nriagu J.O., Pacyna J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water, and soils by trace metals. *Nature*, 333: 134-139.
- Ochieng E.Z., Lalah J.O., Wandiga S.O. (2007) Analysis of Heavy Metals in Water and Surface Sediment in Five Rift Valley Lakes in Kenya for Assessment of Recent Increase in Anthropogenic Activities *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79:570-576
- Odegard, M (1997) *Chemical analysis of rocks and soils in Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments*, O.M. Saether & P. de Caritat (eds), Balkema, Rotterdam.

- Ozmen H., Kulahci F., Çukurovali A., Dogru M. (2004) Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazig, Turkey). *Chemosphere*, 55:401–408.
- Persaud D., Jaagumagi R., Hayton A. (1993) Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, pp 27
- Pertsemli E., Voutsas D. (2007) Distribution of heavy metals in Lakes Doirani and Kerkini, Northern Greece. *Journal of Hazardous Materials*, 148:529-537
- Piskunov L.I. and Gushchyn V.M. (1981) Uptake of radionuclides by freshwater plants under natural conditions. *Radiobiol.(USSR)*, 21: 730-736.
- Sachanidis Ch., Georgakopoulos A., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Iordanidis A., Kantiranis N. (2000) Environmental aspects of trace elements in Ptolemais-Amynteon lignites, Northern Greece, 5th International Conference on Environmental Pollution (Thessaloniki) Proceedings p 541-548.
- Salomons W., Forstner U. (1984) *Metals in the Hydrocycle*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 349
- Scheinberg I.H., 1991. Copper. In: Merian E. (ed), *Metals and their compounds in the environment*, Verlag Chemie, Weinheim, p. 893-908.
- Siegel Frederic R. (2002) *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 216
- Scoullou M., Dassenakis M. (1983) Trace metals in a tidal Mediterranean embayment. *Marine Pollution Bulletin*, 14:24-29
- Skordas K., Kelepertzis A., (2005) Soil contamination by toxic metals in the cultivated region of Agia, Thessaly, Greece. Identification of sources or contamination. *Environmental Geology*, 48:615-624
- Skoulidakis N., Kaberi H., Sakellariou D. (2008) Patterns, origin and possible effects of sediment pollution in a Mediterranean lake. *Hydrobiologia*, 613:71-83
- Smith S.L., MacDonald D.D., Keenleyside K.A., Ingersoll C.G., Field J. (1996) A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal Great Lakes Research*, 22:624–638
- Tessier A., Campbell, P.G.C. & Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical chemistry*, 51: 844-851
- Thomson E.A., Luoma S.N., Johansson C.E., Cain D.J. (1984) Comparison of sediments and organisms in identifying sources of biologically available trace metal contamination. *Water Research*, 18:755-765
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (2002) *A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems*. Volume I, II, III, IV. EPA 05-B02-001-B.
- Wood J.M. (1974) *Biological Cycles for Toxic Elements in the Environment*. Science, 183:1049-1052
- Wood J.M. Goldberg E.D., (1977) Impact of metals on the biosphere, in *Global Chemical Cycles and their Alterations by Man*. Edited by Stumm W. Dahlem Konferenzen, Berlin
- Youn-Joo An, Kampbell Donald. H. (2003) Total, dissolved, and bioavailable metals at Lake Texoma marinas. *Environmental Pollution*, 122 : 253–259
- Zabetoglou K., Voutsas D., Samara K. (2002) Toxicity and heavy metal Contamination of Surficial Sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece. *Chemosphere*, 49: 17-26

- Zaharescu D.G., Hooda P.S., P. Soler A., Fernandez J., Burghilea C.I. (2009) Trace metals and their source in the catchment of the high altitude Lake Respomuso, Central Pyrenees. *Science of the Total Environment*, 407: 3546-3553
- Zalidis G.C., Gerakis A., Apostolakis A., Katsavouni S. (1999) Sustainable restoration of Lake Karla based on the design of wetland functions. p. 54-69. In: N. Kontos, V. Takavakoglou, S. Chatzigiannakis (editors). *Restoring wetland functions. Technical Bulletin. A MedWet publication. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY). Thermi, Greece*
- Zalidis, G.C., Takavakoglou V., Panoras A., Bilas G., Katsavouni S., (2005) Reestablishing a sustainable wetland at former Lake Karla, using Ramsar restoration guidelines. *Environmental Management*, 34: 875-886.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξάκης Δ. (2009) Η Συμβολή της Γεωμορφολογίας με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης στη χαρτογράφηση αρχαιολογικών θέσεων. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., σελ 446
- Αλούπη Μ.(1999). Μελέτη της επίδρασης αστικών απορροών στη Γεωχημεία των βαρέων μετάλλων στην παράκτια περιοχή της Μυτιλήνης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου σελ 259
- Αρβανίτης Λ.(2006). Γεωχημική μελέτη σε επιφανειακά ιζήματα του επιβατικού τμήματος του Λιμένα Πειραιώς. Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πάτρας σελ 163
- Αργυράκη Α. (2007). Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτική Γεωχημεία, Αθήνα ΕΚΠΑ
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1964) . Φύλλο Λάρισας, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1976-1977). Φύλλο Βόλος, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1977-1978). Φύλλο Πλατύκαμπος, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1977-1978) . Φύλλο Βελεστίνο, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1978-1979). Φύλλο Αγιά - Παναγιά Αγιάς, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1980-1982). Φύλλο Φάρσαλα, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Εξαρχόπουλος Μ. (1999). Λίμνη Κάρλα η αρχαία Βοιηής, η αποκατάσταση ενός υδροτόπου στην Ελλάδα από τους σημαντικότερους της Ευρώπης, Βόλος ΤΕΕ Μαγνησίας, σελ 191
- Ζωτιάδης Β.(2004). Γεωχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών θαλάσσιων ιζημάτων της Νοτιοανατολικής Αττικής, Κέας και Μακρονήσου με έμφαση στην καταγραφή της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα ως αποτέλεσμα των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών δραστηριοτήτων της Λαυρεωτικής, Διδακτορική διατριβή, Ε.Κ.Π.Α. σελ.195
- Θεοδώρου Α. (2004). Ωκεανογραφία Εισαγωγή στο Θαλάσσιο Περιβάλλον. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης Αθήνα σελ 712
- Κελεπερτζής Α.Ε. (2000). Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Μακεδονικές Εκδόσεις, Αθήνα σελ. 304
- Κιλικίδης Σ. (1997). Οικολογία και προστασία περιβάλλοντος. Εκδόσεις Σύγχρονη παιδεία Θεσσαλονίκη σελ.416
- Κουιμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., (1998). Χημεία περιβάλλοντος, Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.182-188.
- Κουιμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Βουτσά Δ. (2004). Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος. University Studio Press Θεσσαλονίκη σελ.385
- Λιοδάκης Σ.(2003) Αναλυτική Χημεία θέματα και προβλήματα Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα σελ. 416
- Λουκάς Α., Μυλόπουλος Ν., Μυλόπουλος Γ., Μουστάκα Ε., (2006). Προσομοίωση και Αποτίμηση της Λειτουργίας του Ταμιευτήρα της Κάρλας. 5^ο Εθνικό Συνέδριο της

- ΕΕΔΥΠ «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με Βάση τη Λεκάνη Απορροής», Ξάνθη, σελ 267-274
- Μαντουζα Α. (2008). Ανάλυση της λεκάνης του ποταμού Πηνειού στα πλαίσια της οδηγίας 2000/60 με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., σελ 141
- Μουντράκης Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press Θεσσαλονίκη, σελ 98-108
- Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Αντωνόπουλος Β.(1990). Υδρολογικά στοιχεία της τέως λίμνης Κάρλας. Προστασία και διαχείριση των Ελληνικών υδροτόπων. Πρακτικά συνεδρίου Συνάντησης Εργασίας για τους Ελληνικούς Υδροτόπους. Θεσσαλονίκη σελ.467-502.
- Μπόμπορη Δ. (1996). Βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων στο οικοσύστημα της λίμνης Κορώνειας, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ, σελ 336.
- Παπανίκος Ν. (2008) Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 248
- Ρούσκας, Γ.(2001). Η επιστροφή της λίμνης Κάρλας, Αθήνα σελ 182
- Σαμανίδου Β.(1990) Μελέτη κατανομής και επαναδιάλυσης βαρέων μετάλλων σε νερά και ιζήματα ποταμών της Βόρειας Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. σελ 298
- Σκούλος Μ. Δασενάκης Μ. (1992) Εργαστηριακές ασκήσεις Χημικής Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.(1999). Μελέτη Επαναδημιουργία Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες. Περιβαλλοντική –Τεχνική Έκθεση, Αθήνα
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (2000). Μελέτη Επαναδημιουργία Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες, Μελέτη ειδικών Περιβαλλοντικών Έργων, Αθήνα
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (2001). Μελέτη Επαναδημιουργίας Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες, Αθήνα
- ΥΠΕΧΩΔΕ (2005). Μελέτη Συμπληρωματικών Αντιπλημμυρικών Έργων και Έργων Ορεινής Υδρονομίας στη Λεκάνη της Λίμνης Κάρλας. Προμελέτη Δασοτεχνικών Έργων – Τεχνική έκθεση, Αθήνα
- Φερεντίνος Γ., Θεοδώρου Α., Παπαθεοδώρου Γ. (2003) Πλανήτης Γη-Υδρόσφαιρα Τόμος Β΄ Πάτρα Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. σελ 672
- Χατζηαποστόλου Α (2009). Γεωλογικές – Εδαφολογικές παράμετροι της αποξηραμένης Λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υδροτόπων. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 369

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<http://maps.google.com> (πρόσβαση: 05/09/2010)
www.hnms.gr/hnms/greek/index_html (πρόσβαση: 08/10/2010)
<http://www.ypan.gr> (πρόσβαση: 05/09/2010)
<http://invenio.lib.auth.gr> (πρόσβαση :13/12/2010)
<http://argo.ekt.gr> (πρόσβαση: 15/11/2010)

6. ABSTRACT

The following post graduate consists of environmental geochemical research in the sediments at the bottom of Lake Carla (Thessaly). The subject of the study was the designation and evaluation of the collection of heavy metals and other toxic traces in the sediments of the lake, in order to extract valuable conclusions for the possibility of pollution in the area, as well as the possibility of chemical traces, natural or man made. In addition, one more goal was the designation of bioavailability of metals, also the possible consequences in the aquatic organisms.

Sixteen stations were chosen for sample taking and sixteen samples of sediments were collected. The choice of the positions was made by the division of six ails that started from the deepest point of the lake and ended in the shallowest point of surficial flows on the perimetricaly of the lake. The collected samples of the sediments were analyzed in order to designate the collections (whole and man made) of the chemical traces Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn.

The designation of the collection of metals was made from the dissolution of samples with the major toxics, HNO_3 and HCl with the help of the system (Multiwave 3000) The designation of the collections of heavy man made metals was conducted by the “0.5 N HCl ” method. The analysis of the chemical traces was executed in the laboratory at the Agricultural Ichthyological and Water Environment department at the Agricultural Science school at the University of Thessaly with the method of Spectroscopic Atomic Absorption (AAS).

The evaluation of the traces of partial solubilization in the collections of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn based on the quality criteria of the traces ERM - ERL, PEL-TEL and SEL-LEL are classified as :

non polluted from Zn where no adverse effects are expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

non polluted to medium polluted from Cu where adverse effects are rarely expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

medium polluted from Pb where adverse effects are often expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

and polluted to extremely polluted with Cr and Ni where adverse effects on the majority of the sediment-dwelling organisms are usually expected to occur.

The evaluation of the traces in the man made collections of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn based on the quality criteria of the traces ERM - ERL, PEL-TEL and SEL-LEL are classified as:

non polluted from Zn and Pb and no adverse effects are expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

non polluted to medium polluted from Cu and Cr and adverse effects are expected to occur in the sediment-dwelling organisms rarely.

and polluted to extremely polluted from Ni and and adverse effects are usually expected to occur on the majority of the sediment-dwelling organisms.

The collections of the particles Cr and Ni exceeded the values of the quality criteria in traces of 100% samples.

The contrast of values in the chemical collections of sediments in the area of the research matches the collections of sediments in lakes of other Greek areas showed that the collections of Co, Cr and Ni are the at the same level as matching collections of lake Vegoritida.

The results of the analysis with the method “0.5 N HCl” showed that the order of bioavailability of heavy metals in the area researched is as follows $\text{Co} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cr}$

Key words: Heavy metals, Lake Carla, Environmental consequences.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α-Β-Γ

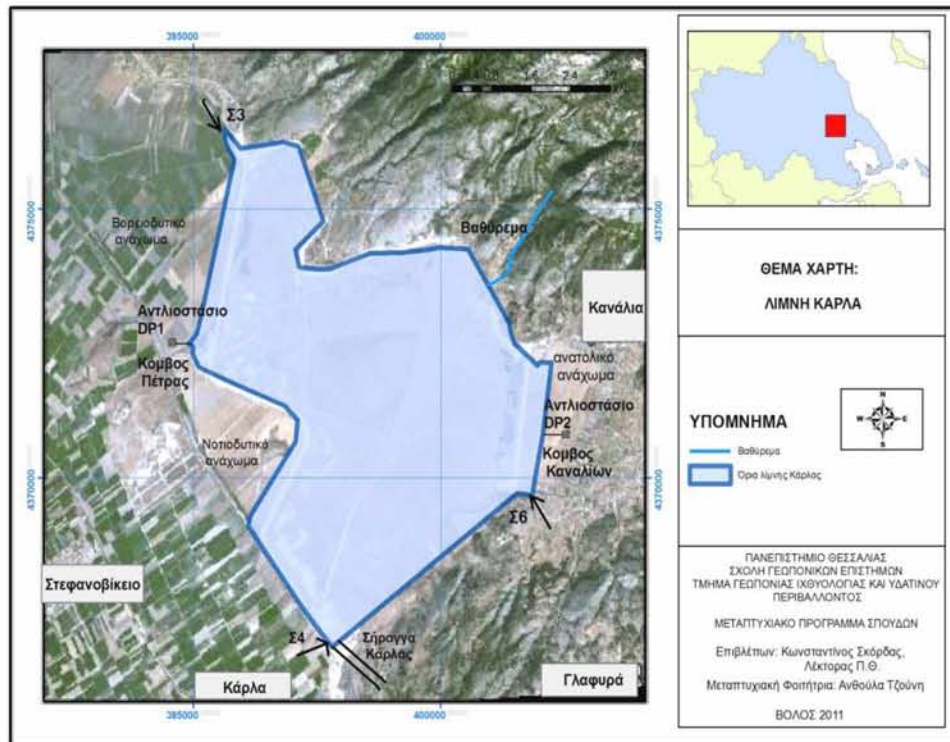
Α: ΣΧΗΜΑΤΑ

Β: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

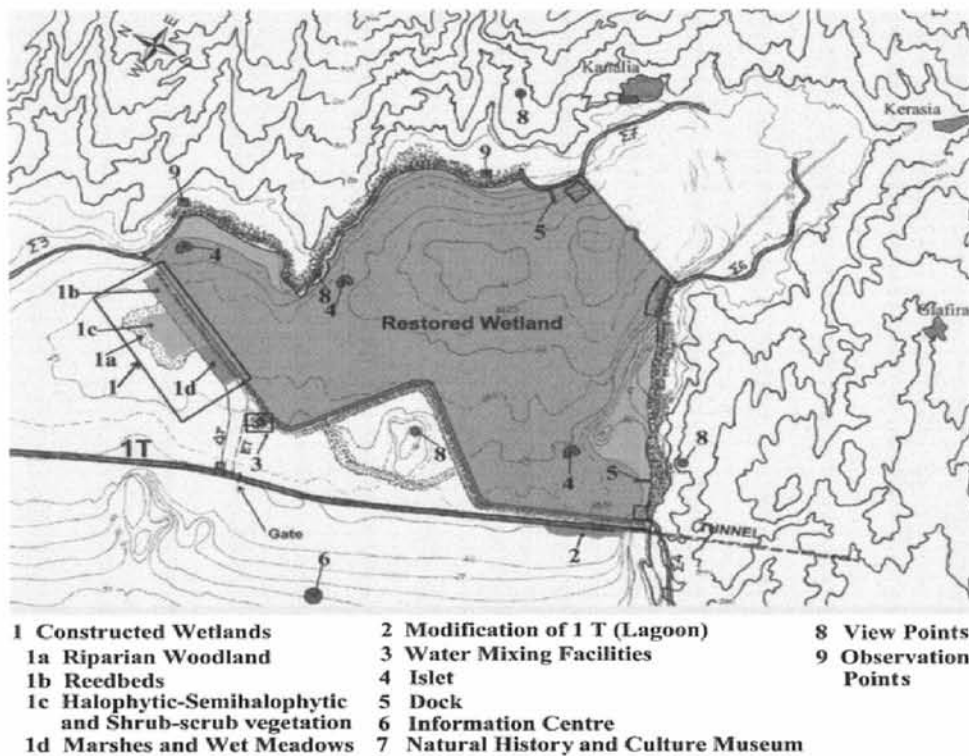
Γ: ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

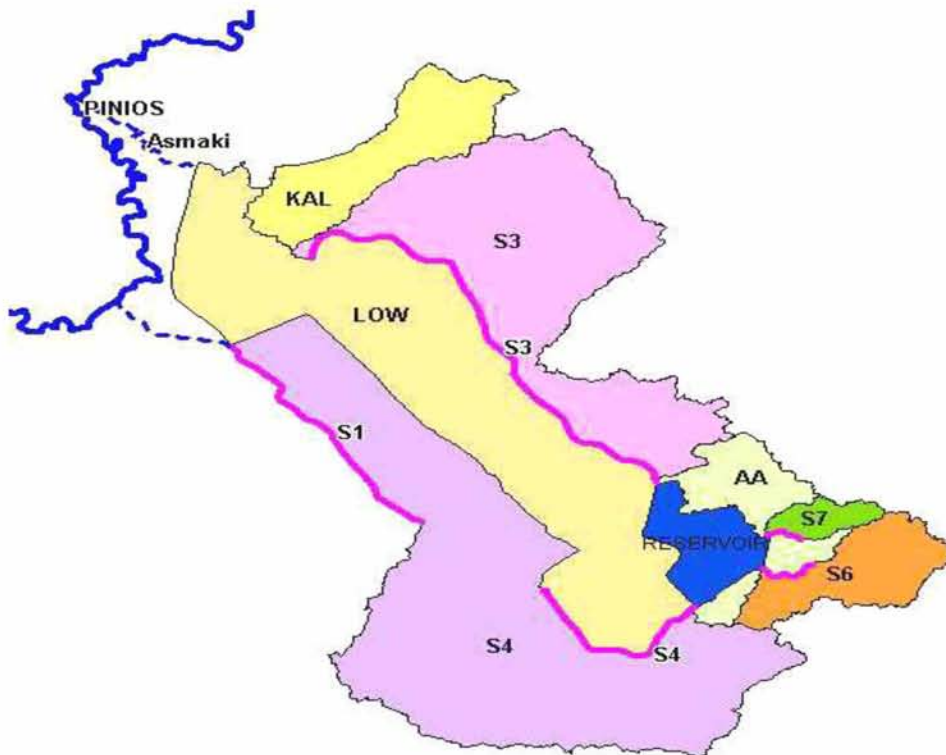
ΣΧΗΜΑΤΑ



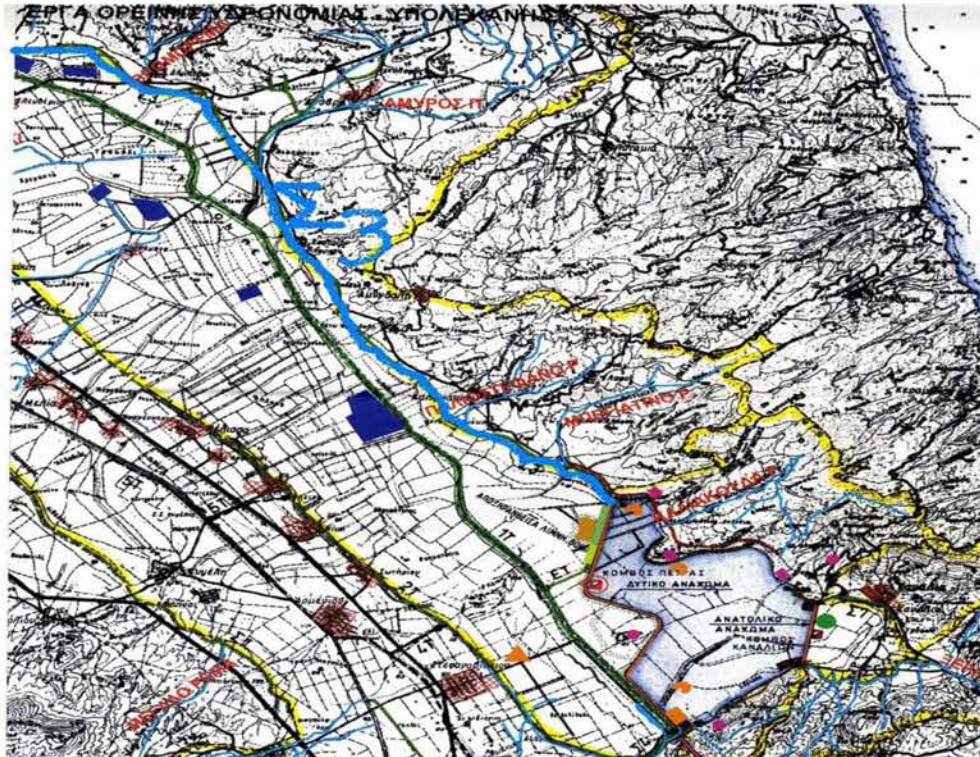
Σχήμα 1.1: Ταμιεντήρας Κάρλας



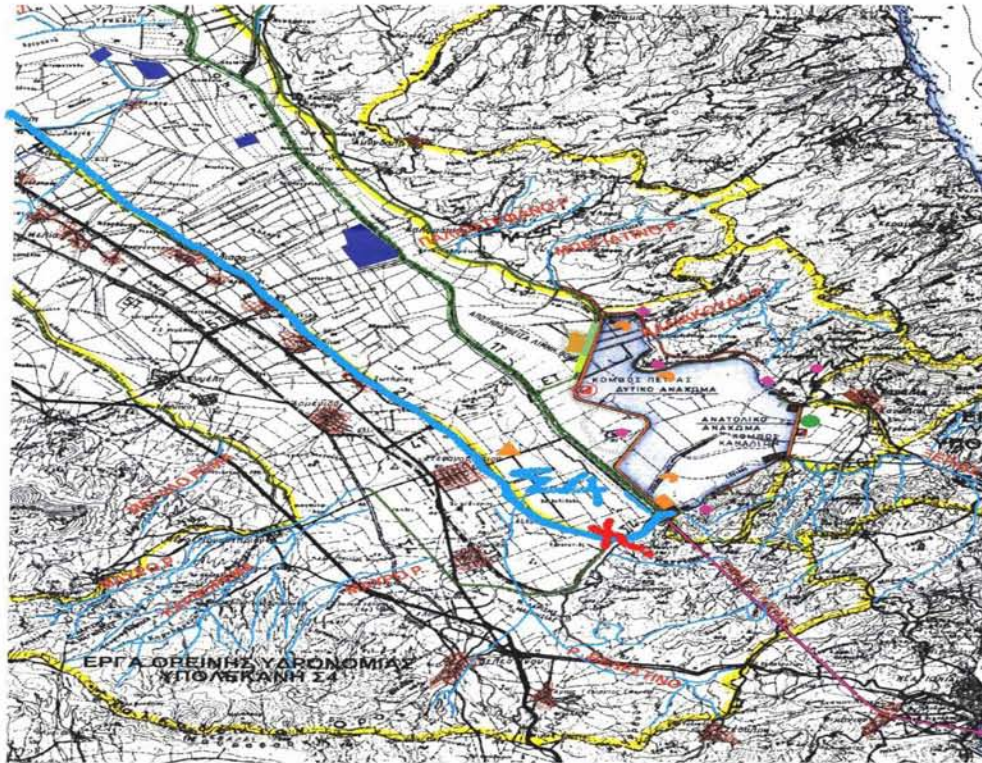
Σχήμα 1.2: Ταμιεντήρας Κάρλας (Zalidis et al. 2005)



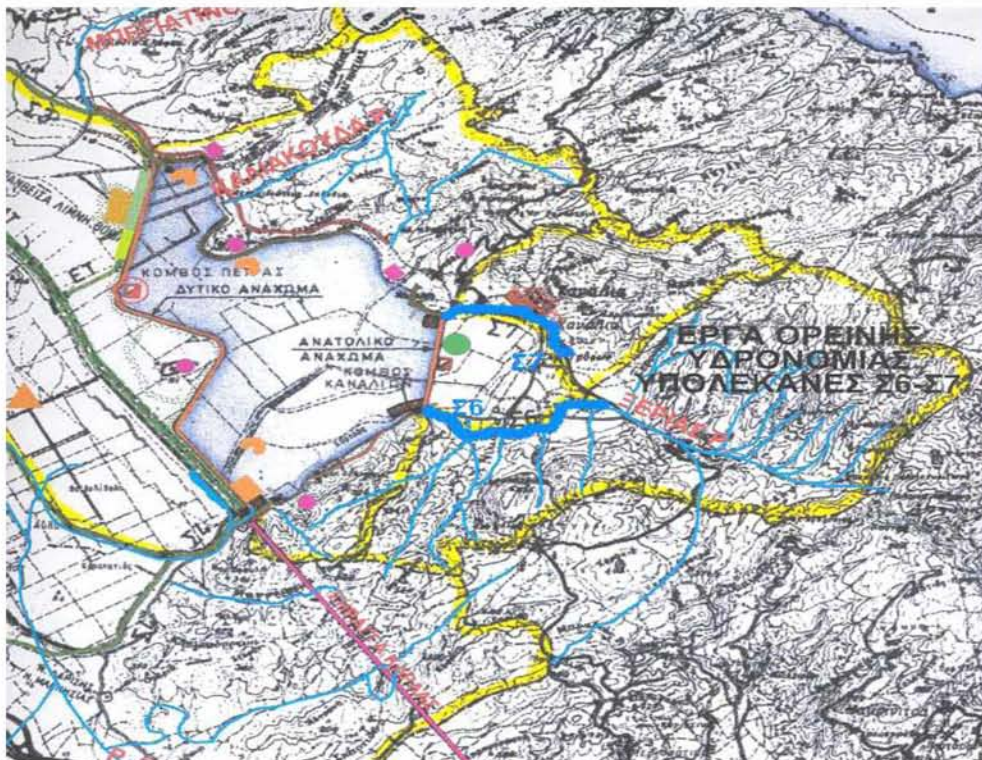
Σχήμα 1.3: Συλλεκτήρες εισόδου νερού στη λίμνη Κάρλα (Λουκάς και συν. 2006)



Σχήμα 1.4: Συλλεκτήρας Σ_3 (Παπανίκος Ν. 2008)



Σχήμα 1.5: Συλλεκτήρας Σ₄ (Παπανίκος Ν. 2008)



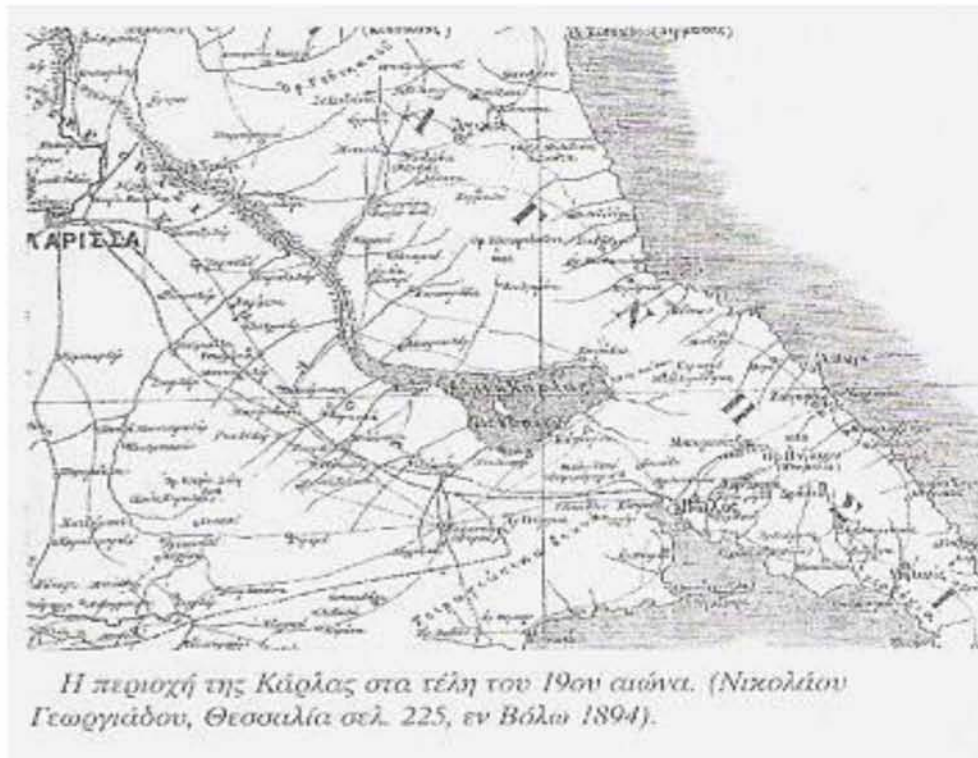
Σχήμα 1.6: Συλλεκτήρας Σ₆ (Παπανίκος Ν. 2008)



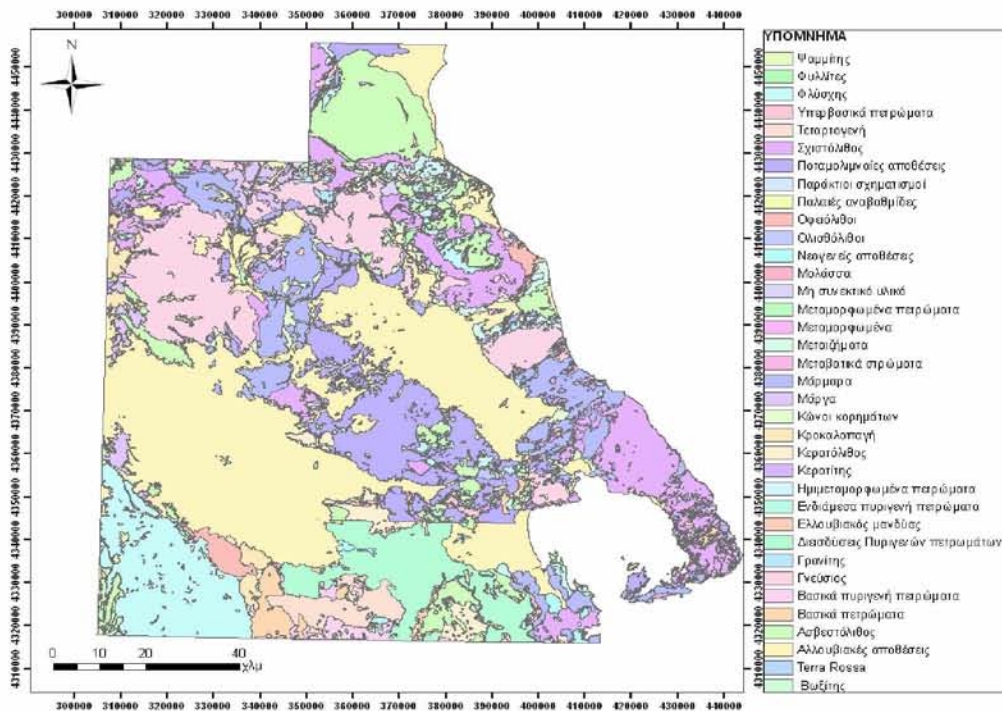
Σχήμα 1.7: Αντλιοστάσιο DP1



Σχήμα 1.8: Η περιοχή της λίμνης Κάρλας (Λουκάς και συν. 2006)



Σχήμα 1.9: Η Κάρλα το 19^ο αιώνα (Ρούσκας Ι. 2001)



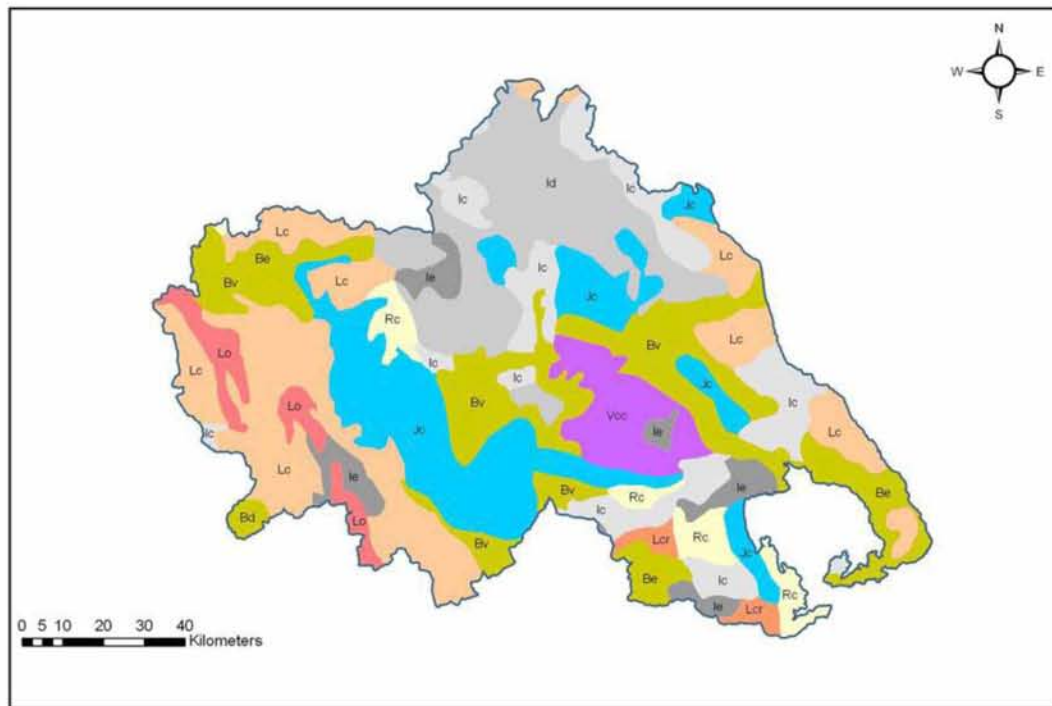
Σχήμα 1.10: Ψηφιοποιημένος απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Θεσσαλίας (Αλεξάκης Δ. 2009)



Σχήμα 1.11: Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας . (ypap.gr)



Σχήμα 1.12: Λεκάνες απορροής χαμηλών και υψηλών περιοχών (Παπανίκος Ν. 2008)



Εδαφολογικός Χάρτης

Υπόμνημα

Bd Be Bv Jc Lc Lcr Lo Rc Vcc Id Ie

Bd: Dystric Cambisol **Be:** Eutric Cambisol **Bv:** Vertic Cambisol **Jc:** Calcaric Fluvisol
Lc: Calcaric-lithic leptosol **Ld:** Dystric-lithic Leptosol **Le:** Eutric-lithic Leptosol **Lc:** Chromic Luvisol
Lo: Haplic Luvisol **Lcr:** Rhodic Luvisol **Rc:** Calcaric Regosol **Vcc:** Calcaric-chromic Vertisol

Σχήμα 1.13: Εδαφολογικός χάρτης Θεσσαλίας (Μαντουζά Α. 2007)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ- ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ



φωτογραφία 1



φωτογραφία 2



φωτογραφία 3



φωτογραφία 4

Εικόνα 1: Φωτ.1-4. Η λίμνη Κάρλα



φωτογραφία 5



φωτογραφία 6



φωτογραφία 7



φωτογραφία 8



φωτογραφία 9

Εικόνα 2: Φωτ 5-9. Η λίμνη ως σταθμός ανάπαυσης αποδημητικών πουλιών



φωτογραφία 10



φωτογραφία 11

Εικόνα 3: Φωτ.10-11. Ψάρεμα στις όχθες της λίμνης Κάρλας



φωτογραφία 12



φωτογραφία 13



φωτογραφία 14



φωτογραφία 15

Εικόνα 4: Φωτ.11-14. Απορρίμματα ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη λίμνη



Εικόνα 5: Ελεύθερη βόσκηση στη λίμνη



Εικόνα 6: Μετρητής στάθμης νερού

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.2: Μέσες τιμές κλιματολογικών στοιχείων περιοχής Λάρισας περιόδου 1955-1997 (ΕΜΥ)

Μήνες	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση μηνιαία θερμοκρασία °C	5,20	6,80	9,40	13,80	19,70	25,00	27,20	26,20	21,80	16,20	10,80	6,60
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία °C	9,80	12,00	14,70	19,60	25,70	31,00	33,10	32,60	28,40	22,20	15,80	11,10
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία °C	0,70	1,30	3,30	6,20	10,90	15,20	17,70	17,30	14,00	10,00	5,80	2,00
Μέση μηνιαία σχετική υγρασία %	79,60	75,00	73,40	68,70	61,60	49,20	46,60	50,00	58,90	70,00	79,50	82,20
Μέση μηνιαία βροχόπτωση mm	32,50	31,70	36,70	33,00	38,20	25,60	19,00	16,40	30,20	52,20	56,90	50,80
Συνολικές μέρες βροχής /μήνα	12,30	12,10	13,10	11,30	10,30	6,90	4,70	4,30	6,30	10,10	12,10	13,20
Μέση μηνιαία ένταση ανέμων Kt	2,40	3,00	3,30	3,20	3,10	3,90	4,10	3,70	3,30	2,70	1,90	1,80
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια h	112,20	119,20	163,90	211,90	256,70	318,90	332,80	309,60	243,60	165,90	112,00	98,80
Μέση μηνιαία εξάτμιση mm	17,80	25,80	70,00	116,60	170,80	255,50	294,20	264,00	178,30	98,90	42,10	21,00

Πίνακας. 3.17: Κυριότερες βιομηχανικές χρήσεις βαρέων μετάλλων (Siegel F. 2002)

Στοιχεία Χρήσεις		Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	Κράματα	x	x	x	x	x	x	x
2	Μπαταρίες και ηλεκτροχημικές συσκευές				x	x	x	x
3	Φυτοφάρμακα (γεωργία)				x			
4	Κεραμική- υαλουργία	x				x	x	
5	Φαρμακευτική - οδοντιατρική		x	x			x	x
6	Συσκευές ηλεκτρικού εξοπλισμού			x				
7	Λιπάσματα		x	x	x	x	x	
8	Καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας						x	
9	Εξόρυξη- σύντηξη- μεταλλουργία		x	x	x	x	x	x
10	Πυρηνικοί αντιδραστήρες							
11	Χρώματα και χρωστικές	x	x	x	x	x	x	x
12	Δύλιση πετρελαίου	x	x	x		x	x	x
13	Σωλήνες – φύλλα - μηχανήματα			x			x	
14	Πλαστικά						x	x
15	Χαρτί- χαρτοπολτός		x	x		x	x	
16	Καουτσούκ							x
17	Αγωγοί- ιμιαγωγοί							
18	Βυρσοδεψία - κλωστοϋφαντουργία		x	x				
19	Συντηρητικά ξύλου		x		x			

Πίνακας 3.18: Γεωργικές πηγές ρύπανσης βαρέων μετάλλων(Kabata –Pendias & Pendias 2001)

Χρήσεις Στοιχεία		Λύματα ppm	Φωσφορικά Λιπάσματα ppm	Νιτρικά Λιπάσματα ppm	Κοπριά ppm	Φυτοφάρμακα %
1	As	2-26	2-1200	0.1-24	3-25	22-60
2	B	15-1000	5-115	10	0.3-0.6	-
3	Ba	15-4000	200	120-250	270	-
4	Be	4-13	-	1	-	-
5	Br	20-165	3-5	-	16-41	20-85
6	Cd	2-1500	0.1-170	0.04-0.1	0.3-0.8	-
7	Ce	20	20	12	-	-
8	Co	2-260	1-12	0.4-3	0.3-24	-
9	Cr	20-40600	66-245	10-15	5.2-55	-
10	Cu	50-3300	1-300	2-125	2-60	12-50
11	F	2-740	8500-38000	300	7	18-45
12	Ge	1-10	-	0.2	19	-
13	Hg	0.1-55	0.01-1.2	0.05	0.09-0.2	0.8-42
14	Mn	60-3900	40-2000	40-1200	30-550	-
15	Mo	1-40	0.1-60	0.1-15	0.05-3	-
16	Ni	16-5300	7-38	10-20	7.8-30	-
17	Pb	50-3000	7-225	20-1250	6.6-15	60
18	Rb	4-95	5	3	0.06	-
19	Sc	0.5-7	7-36	1	5	-
20	Se	2-9	0.5-25	0.08-0.1	2.4	-
21	Sn	40-700	3-19	0.5-4	3.8	-
22	Sr	40-360	25-500	610	80	-
13	Te	-	20-23	-	0.2	-
24	U	-	30-300	-	-	-
25	V	20-400	2-1600	20	-	45